(京)新登字 158 号

图书在版编目(CIP)数据

系统论/魏宏森,曾国屏著.—北京:清华大学出版社,1995
ISBN 7-302-01970-3

Ⅰ.系… Ⅱ.①魏…②曾… Ⅲ.系统理论 Ⅳ.N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 16150 号

出 版 者:清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)
责任编辑:曹淑贞
印 刷 者:人民文学印刷厂
发 行 者:新华书店总店北京科技发行所
开　　本:850×1168 1/32　印张:12　字数:306 千字
版　　次:1995 年 12 月 第 1 版　1995 年 12 月 第 1 次印刷
书　　号:ISBN 7-302-01970-3/B·11
印　　数:0001—2000
定　　价:24.00 元

## 内容简介

系统论是系统科学的哲学。本书立足于一般系统论、信息论、控制论、耗散结构理论、协同学、超循环理论、突变论、混沌理论和分形理论等系统科学理论，探索了系统科学古今中外的四方面来源，考察了从宇宙、生命、精神、生态到社会五大系统的基本特征，概括出八条系统论原理和五条系统论规律，提出了一个系统论体系。

本书气势宏大，立意深刻，论述严谨，富有时代感，适合于系统科学、哲学以及有关交叉学科人员阅读参考。

## Synopsis

Systematicism is philosophy of system science . Footing upon a series theories in system science which includes genenal system theory, information theory, cybernetics, dissipative structure theory, synergetics, hypercycle theory, catastrophe theory, theory of chaos and theory of fractal, etc. , the book explores 4 origins of system thinking, ancient and morden, Chinese and foreign, investigates basic charcters of 5 main systems, the unicerse, life, spirit, ecology and society, generalizes 8 principles and 5 laws of systematicism, and forms a system of system aticism.

This book is of great momentum, deep thought, well—knit, explaining profound theories in simple language and full of time spirit. It will be of very hlep to those whose interest is in system science, philosophy and related cross—disciplines.

# 前　　言

献给读者的这本书——《系统论》，是我们十多年来进行现代科学技术与哲学相结合探索的结果。

纵览即将逝去的20世纪科学技术发展的历史，人们不难发现，除相对论、量子力学以外，再也没有像系统理论、系统科学及与其相应发展的高新技术对人类的科学、哲学与社会产生如此巨大的冲击，引起人类思维方式的巨大变革。它犹如一股巨浪席卷哲学界、思想界、科学界，无情地检验着以往的科学与哲学的学说，革新着人们的世界观和思维方式。正如前东德哲学家格·克劳斯所说的："就其革命影响而言，控制论可以同哥白尼、达尔文与马克思的发现相媲美。"前苏联控制论哲学家伊·茹可夫指出：控制论和系统论是继相对论和量子力学之后，又一次"彻底改变了世界的科学图景和当代科学家的思维方式。"

我国杰出科学家钱学森对系统理论与系统科学的创立有独特的贡献。50年代，他创立的工程控制论在国际学术界享有盛誉。70年代末，当他大力提倡系统理论和创立系统科学的同时，对科学技术与哲学的关系进行开拓性的研究。他认为："每次科学技术的重大进展都对哲学引起了强烈的冲击。"他在《工程控制论》修订版序言中写道："我们可以毫不含糊地从科学理论角度来看，20世纪上半叶的三大伟绩是相对论、量子力学和控制论，也许可以称它们为三项科学革命，是人类认识客观世界的三大飞跃。"1985年他认为：建立和发展系统学"在科学史上的意义不亚于相对论和量子力学"。他创立的科学技术体系不仅是对于科学学，而且亦对辩证唯物主义哲学有突出的贡献。他最早提出："从马克思主义哲学到系统学的桥梁，可以称作'系统观'或'系统论'。"他用现代科学技术的成果，特别是系统科学的成果，丰富、发展了辩证唯物主义。

随着系统理论和系统科学的进展，人们越来越理解恩格斯在上世纪末为我们所展现的自然图景："依靠经验自然科学本身所提供的事实，以近乎系统的形式描述出一幅自然界联系的清晰图画。"本人经过第一阶段5年的研究，于1982年得出以下的认识："如果说19世纪中叶自然科学中的三大发现（细胞学说、能量守恒和达尔文进化论）是创立辩证唯物主义的自然科学基础；那么，一百年后系统理论与系统科学的产生和应用，与相对论、量子力学一样为丰富、发展辩证唯物主义提供了现代科学的根据。"本书就是在这些战略思想的指导下逐渐形成的。

早在70年代末，我刚刚从事系统理论、系统科学的方法论和哲学问题研究时，就有幸得到钱学森、宋健、关肇直、许国志等系统科学家的关心和指导。1978年教育部组织编写我国第一本《自然辩证法讲义》时，我执笔写了"控制论方法与系统方法"初稿，当年冬天在太原举行的自动化学会第三届年会上，宋健、杨家墀主持邀请了出席大会的30多位控制论学者对此进行了专题讨论。这是科学工作者与哲学工作者共同对系统理论和系统科学进行哲学和方法论研讨的新开端，会后根据专家们的意见进行了认真修改。1979年春，稿子送给钱学森，他作了认真的审阅，使我有机会第一次当面聆听他的教诲，从中得到了鼓励。再次修订成稿，并将其作为自然辩证法教材的重要内容，使之在全国研究生教育中得到普及。

1980年在北京召开的全国第一次科学方法论讨论会上，我提出从系统理论、系统科学中提炼出来四种科学方法概括为一个"系统科学方法论"形态，并在1982年写成了《系统科学方法论导论》一书，对这种方法论进行了详细论述，同时专门探讨了系统理论与辩证唯物主义的关系，提出了系统理论、系统科学的产生将会推动"唯物主义改变自己的形式"，并从哲学范畴、世界观、认识论和辩证法四个方面论证了它们"为丰富发展辩证唯物主义提供了基础，为把辩证唯物主义提高到更高阶段创造了条件。"

为了在全国推动系统理论、系统科学的方法论和哲学问题研究，1982年由大连工学院、华中工学院、西安交通大学、清华大学四校发起，由我负责筹备主持在北京科协的支持下召开了全国第一次系统论、信息论、控制论的科学方法与哲学问题研讨会，钱学森对这次会议给予了特别的关注与指导，并到会作了“系统思想、系统科学与系统论”的长篇重要报告。他论证了“系统论是系统科学到马克思主义的桥梁”的科学论断，倡导“三论归一”；认为“我们的这个系统论不是贝塔朗菲的‘一般系统论’，比一般系统论深刻多了”。我在大会上发表的“系统理论中的若干科学与哲学问题初探”一文中提出：要“运用辩证唯物主义这个锐利武器，结合现代科学技术发展的成果，在更高的层次上进行新的综合，建立一门把系统、信息、控制等基本原理有机地结合在一起的新理论——广义系统论。”1983年我又写了“辩证唯物主义系统观初探”，论证了系统观应该作为辩证唯物主义自然观、世界观的一个重要组成部分。为尽早建立广义系统论，我曾写了详细提纲，并当面向他请教多次。根据这个提纲，我为本专业研究生正式开设了此课程，在教学中不断增添新的内容，我组织了青年学者常绍舜、庞元正、栗刚等人参加研究小组，分工写出了《广义系统论研究》。1988年在大连召开的系统科学哲学研讨会上，我发表了“广义系统论初探”，文中指出：“广义系统论是把对象作为组织和自组织复杂系统进行专门的科学技术哲学研究的一般系统理论，是综合现有的一般系统论、信息论、控制论、耗散结构、协同学和超循环论等现代复杂性系统理论中的科学技术哲学问题的横断科学，是系统科学与辩证唯物主义联系的桥梁，它研究系统科学中的哲学问题，是属于科学技术哲学的范畴。”本书即广义系统论。

为了普及和扩大系统理论、系统科学的影响，应四川教育出版社要求，1990年我校博士后宋永华找我商定，组织国内在这方面有造诣的学者，编写了《开创复杂性研究的新学科》，此书共50多

万字，分别介绍了系统论、信息论、控制论、耗散结构、协同学、超循环理论、突变论、混沌和分形理论9门系统科学的前沿学科。在我写的系统论一章中又一次阐述了广义系统论的八大原理，即整体性原理、开放性原理、层次性原理，目的性原理、分解协调原理，自组织原理，稳定性原理和突变性原理。并且对系统论提出的新的思维方式——系统思维进行了深入讨论，认为系统思维方式是根据概念、系统的性质、关系和结构，把对象有机地组织起来构成模型、研究系统的功能和行为，着重从整体上去揭示系统内部各要素之间以及系统与外部环境的多种多样的联系、关系、结构与功能。

在1991年12月11日，中国系统工程学会召开了钱学森系统思想与系统科学学术研讨会。他再次号召系统工程学者与哲学社会工作者携起手来，并肩战斗，为创立辩证唯物主义的系统论而奋斗。强烈的使命感驱使着我，日新月异的系统理论和系统科学的成就激励着我，10多年来在运用系统理论和方法亲自实践亦须总结提高，作为一个科学技术哲学工作者，完成系统论的创建责无旁贷，更为紧迫。

把它真正变成现实有两点值得特别指出，一是曾国屏副教授的参与及为此付出的辛勤劳动。近年来他在系统自组织哲学问题的研究方面取得许多成果，1990年曾参与了《开创复杂性研究的新学科》一书的写作，表现出较好的系统理论和科学技术哲学功底，1994年春经共同讨论，在我以往工作的基础上，融入他的研究成果，重新构想出“四源”、“五观”、“八原理”、“五规律”总体框架，初步确定了各篇、各章节的内容，由他整理、加工、再创作形成初稿，再经我修改补充，共同推敲，多次反复，最后由我统稿、定稿而成。此书是我们合作研究的产物。

二是感谢中国自然辩证法研究会及其系统科学哲学委员会和所有参加过全国系统理论的科学方法与哲学问题学术讨论会的全国同仁们，这一活动长盛不衰，已经连续召开了10次研讨会，即将

召开第11次研讨会，集中了一批在这一领域辛勤耕耘的优秀学者，每次会议都对系统论的形成起着催化剂的作用，为我输送来养料，同时，更要感谢系统学研讨班的郑应平、于景元为我创造了经常能向钱学森、马宾、许国志、廖山涛、王寿云、戴汝为、方福康等系统科学家学习的机会，使我不断吸取系统学研究成果，丰富了系统论的内容，加速了这一理论的创建。

1994年9月中旬，当全部书稿初步完成，我给钱学森去信汇报了十多年来系统论酝酿和写作过程及主要思想，并将该书目录各篇、章、节寄给他审阅。他建议我在系统学研讨班报告该书的内容以便广泛征求与会者的意见，以促进系统科学通向马克思主义哲学的桥梁早日建成。

10月18日下午在航天部710所系统学研讨班上，我们对全书的写作思想、过程和全书内容、章、节作了系统介绍，会上认真听取了于景元、孙凯飞、苗东升、钱学敏、潘岩铭等人建设性的、十分宝贵的意见。

应该承认构建“系统科学通向辩证唯物主义的桥梁”是一项跨学科、跨世纪的工程，由于我们才疏学浅，水平有限，力不从心，无论从体系与内容，还是研究的深度与广度，都还有许多不足之处，请读者指正。

魏宏森

1994年中秋于清华园

# 目　录

# SYSTEMATICISM

Wei Hongsen　　Zeng Guoping
(Institute of Science and Technology and Society, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

## CONTENTS

# 导　论

在科学技术发展的征程上，人类认识，以物理学革命叩开了20世纪的大门，人类知识在宏观和微观两极率先打开了新天地，科学技术进入了一个新的飞跃发展时期。

科学技术的发展，极大地促进了物质生产组织、社会组织形式的发展和变化，同时也促进了科学技术研究本身以及社会科学研究的进步。社会物质生产的组织性、复杂性，社会生活系统的组织性和复杂性，社会管理的组织性和复杂性，科学研究对象的组织性和复杂性，都极大地增加了。这些组织性复杂性事物的特点，可以概括为：因素众多，涉及面广；联系紧密，结构复杂；动态多变，随机性强；非线性，非加和性；因果关系的反直观性；滞后效应，影响深远。这就注定科学技术研究要进一步突破以往的理论模式和研究框架，由追求基元性向深究组织性挺进，由向往简单性向探索复杂性发展，由崇拜线性律向探讨非线性律而努力。

于是，以系统为研究和实践对象的理论和技术就应运而生并大步前进了。这些进步，最先是以一般系统论、控制论和信息论、系统工程的诞生为标志，接着又随着耗散结构理论、协同学、超循环理论、突变论、混沌学、分形学等新成就而被推向了一个发展的新阶段。这就孕育和发展起来以系统为特定研究对象的新兴科学门类——系统科学。

系统科学的诞生，代表了20世纪科学技术发展的新方向，是认识组织性、复杂性、非线性问题的新起点。我们把从无组织的基元性向有组织的组织性、从少量粒子低阶层次的简单性向多粒子高阶层次的复杂性、从可加和的线性向非加和的非线性的发展放入如下的三维坐标中，就可以清楚地展现出系统科学带来的科学研究对象、理论和模式的转变。同时，这个三维坐标系也可以看作

是对于系统的一种分类。

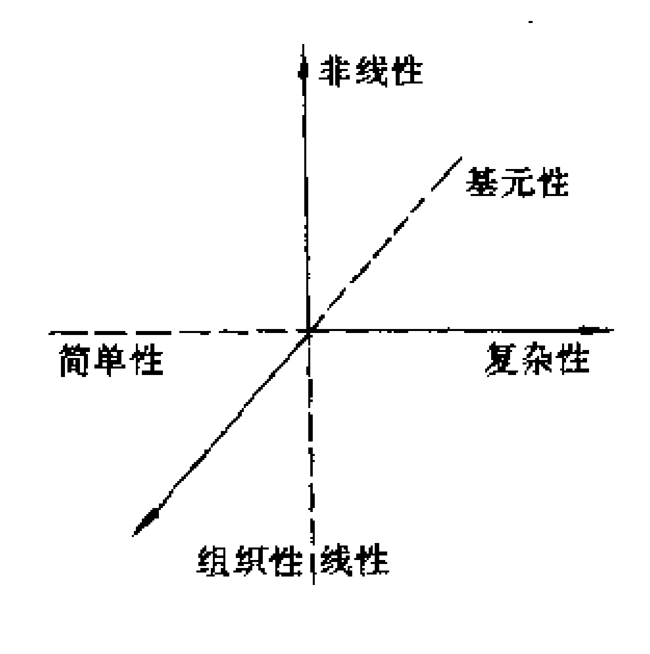



图 导-1

图中一共有 8 个象限，代表了 8 种系统类型：Ⅰ 组织性，复杂性，非线性；Ⅱ 基元性，复杂性，非线性；Ⅲ 基元性，简单性，非线性；Ⅳ 组织性，简单性，非线性；Ⅴ 组织性，复杂性，线性；Ⅵ 基元性，复杂性，线性；Ⅶ 基元性，简单性，线性；Ⅷ 组织性，简单性，线性。

近代科学三百多年以来，人类对于第Ⅶ象限的简单性、基元性、线性系统的问题认识得最深，解决得最好。这一类系统实际上就是机械系统，代表的是机械运动，以牛顿(Newton，1642—1727)力学为代表的经典科学是对这类系统的规律的总结。传统的科学往往停留在致力于解决这一象限的问题。对于其他象限的系统及其问题，尽管统计力学、分子热力学、概率论等对于它们的认识提供了一定的初步的手段，但总的来说，迄今为止，人类的认识是很有限的，其中，认识得最为肤浅的要数第Ⅰ象限的系统，人的大脑组织就属于这类系统。系统科学的兴起，是人类认识突破第一象限问题的重要标志，是认识其他象限问题的新起点，也有力地推

动了对于诸如第Ⅰ象限这样的系统的认识，将会引起一场新的科学技术革命。正如钱学森指出的："系统科学体系的建立，也必将影响其他现代科学技术的发展，并促进较早建立的科学技术部门，如自然科学和社会科学。这种变革蕴育着一场21世纪初的科学新飞跃，即一次科学革命。"①

哲学是自己的时代精神。不同时代的科学，为哲学提供着不同的营养。在传统的仅仅以思辩来奠基的自然哲学终结之后，新型的自然哲学或科学技术哲学把自己立足点放在时代科学技术新成就基础之上，哲学与科学技术的联系就更加紧密起来。科学技术的新成就，更加有力地影响自己时代的哲学，这里首先是更加有力地影响自己时代的科学技术哲学包括科学技术方法论、科学技术思维方式。这就是说，系统科学的兴起，既意味着科学技术的新方向，也呼唤并孕育着与自己的发展相适应的时代的科学技术哲学——系统论。系统论是对系统科学、一般系统论进行的哲学概括，是系统科学与辩证唯物主义联系的桥梁，也可以称为系统科学哲学。

本书就是致力于系统论的探讨。

"第一篇"分别从人类认识发展的角度进行了"系统思想溯源"，其中尤其注意了从新的角度探究了系统思想的"四种基本来源"：首先探讨了"中国传统系统思想"、"西方传统系统思想"、"马克思主义奠基人的系统思想"对于现代系统思想兴起的贡献，最后以专节的形式探讨了"现代系统思想的兴起"，在直接的时代背景中考察了种种系统理论的产生、它们的基本思想及其对于系统论思想形成的基本贡献。本篇力图从系统的角度对蕴藏在中外经典文库中的系统思想进行新的理解、挖掘和解释。

"第二篇"致力于"从辩证的、系统的观点看世界"的探讨，这就

① 钱学森讲、吴义生编．社会主义现代化建设的科学和系统工程．中共中央党校出版社，1987年

形成了“宇宙系统观”、“生命系统观”、“精神系统观”、“生态系统观”和“社会系统观”。从而立足于以人和自然的关系为中心，应用现代科学技术成果，通过刻划了一幅以系统方式存在和演化发展图景来阐发辩证系统观的基本观点。

“第三篇”，以“系统论原理”的形式，对于系统的一般特性、一般方面进行概括和探讨，形成了“八条基本原理”：“系统整体性原理”、“系统层次性原理”、“系统开放性原理”，“系统目的性原理”、“系统突变性原理”、“系统稳定性原理”、“系统自组织原理”和“系统相似性原理”。

“第四篇”，尝试进一步从系统的发展演化与人的实践追求、价值追求相统一的角度，从系统的自我运动、自发组织之中概括出“系统论规律”，这“五个基本规律”是：“结构功能相关律”、“信息反馈律”、“竞争协同律”、“涨落有序律”和“优化演化律”。

# 第一篇　系统思想溯源

系统思想有其发生和发展的历史，本篇中分章讨论了"中国传统系统思想"，"西方传统系统思想"，"马克思主义奠基人的系统思想"和"现代系统思想的兴起"。

---

中国文明对人类、社会和自然之间的关系有着深刻的理解。……中国的思想对于那些想扩大西方科学范围和意义的哲学家和科学家来说，始终是个启迪的源泉。

普里戈金(I. Prigogine,1917—)　《从混沌到有序》

## 1　中国传统系统思想

系统思维，犹如一块璀灿的瑰宝，在传统的中国古代思维中熠熠生辉。中国古代传统系统思想在现代世界得到格外的珍视，被看作智慧的源泉，未来的希望。

### 1.1　阴阳八卦与《周易》的系统思想

《周易》[1]包括两部分，其中《周易上经》即《易经》，分为上下

---

① 周易(BOOK OF CHANGES). 理雅各英译. 秦颖、秦穗校注. 今译,长沙：湖南出版社,1993 年

篇;《周易大传》即《易传》,共计十篇,古称十翼。《易经》大约形成于殷周之际,传说伏羲氏始作八卦,周文王推演为六十四卦;《易传》旧说为孔子(前 551—前 479)所作,近人认为是战国以来陆续形成的解易作品汇集。自战国时代起,它就被儒家奉为经典,并进而跃居为群经之首,近三千年来对于中国的文化和思维方式产生了重大的影响。自春秋以来,几乎历代思想家都注疏或研讨《周易》,借注解《易经》而阐发自己的哲学思想,成为中国思想史演进的一种方式。而且,它也是最早传到西方的中国古典著作之一,对世界文化也产生了重要影响,特别在当代受到了世人的青睐。

《周易》最初是作为一本关于占筮的书,经过儒家融汇不同的学术理论,对《周易》进行了富有创造性的说解,以其巫术外壳发掘其"义理",就建筑起来一座哲学殿堂,成为一个试图对于自然、社会以及人生作出统一解释的体系。在我们看来,它实际上以一种朴素的系统模式反映了一种朴素的系统观和系统思维。而且正是这种朴素的系统观和系统思维,使得它成为中国传统文化的一个吸引子,也引起西方文明的惊奇。

《易经》的朴素的系统观主要体现在以下几个方面。

首先,《易经》把世界看作一个由基本要素组成的系统整体。

按照《周易》"易辞下传"说法,《周易》产生于对天地之间的事物的概括,"古者包牺氏之王天下也,仰则观象于天,俯则观法于地,观鸟兽之文与地之宜,近取诸身,远取诸物,于是始作八卦",其目的是"以通神明之德,类万物之情。"

《周易》"序卦传"说:"有天地,然后万物生焉。盈天地之间者唯万物。"天地产生万物,万物充满天地之间。所以,《易经》就以代表天地的乾坤二卦作为起始,将象征万事万物的其余六十二卦置于其后,从而在卦象和六十四卦的编排上,就体现出它的系统整体观:六十四卦是一个整体,每卦又自成一个整体,组成一卦的六爻之间存在着相互制约的关系,任意变动其中的一爻就会引起一系

列相关的变化，不仅会造成内部诸关系的改变，而且还可能影响与其密切相关的外部关系。

按照《周易》，其以天地为准则，所以能够将天地间的道理普遍包容在内，从整体上把握宇宙及其万事万物，即"《易》与天地准，故能弥纶天地之道。"（《周易》，"系辞上传"）在这个世界系统中，八卦即乾、坤、震、巽、坎、离、艮、兑，分别代表天、地、雷、风、水、火、山和泽八种最基本的实体要素，这八种实体进一步联系起来时，"八卦成列，象在其中矣；因而重之，爻在其中矣；刚柔相推，变在其中矣；系辞焉而命之，动在其中也。"（《周易》，"系辞下传"）这就是说，八卦排成序列，天地间的万种物象便尽在其中了；八卦重叠成六十四卦，三百八十四爻便尽在其中了；刚爻柔爻递相推移，变化之理便尽在其中了；在卦撰下撰系文辞告明吉凶，适时变动的规律也就在其中了。因此，从整体上把握这个由基本要素组织起来的系统世界，不仅包括把握它的组织结构，也包括把握其运动变化。

其次，《周易》把世界看成是一个由基本矛盾关系所规定的多层次系统整体。

在中国古代思维中，阴阳观念的起源是很早的。阴阳的观念产生以后，在《周易》中得到了发展。

在《周易》体系层次上，卦是这个体系的要素，六十四卦中，阳卦十六，阴卦十六，阴阳卦三十二，它们之间的相克相生、相反相成，形成了概括天地间万事万物的世界体系。

《周易》还认为，"刚柔者，立本者也"，阳刚阴柔是确立一卦的根本，从而作为《周易》世界体系的要素——卦也是有其结构的，是有更基本组成的"子系统"，这样的更基本组成就是阴阳对立双方，即一对基本矛盾。值得注意的是，在子系统的层次上，这里的要素不是以实体来定义的，而是以关系来定义的，因而上一层次的实体是由下一层次的关系来规定的。

于是，在《周易》世界体系中，天地及其衍生出来的基本要素

——子系统即天、地、雷、风、水、火、山和泽八种最基本的实体，其本身是更深层的阴阳基本矛盾的对立统一体，这八种要素组成了这个系统整体的要素水平上的四对矛盾关系，进而在重卦里又进一步变为三十二对矛盾关系，俗称正反卦，六十四卦都是按正反卦排列成体系的。因此，《周易》从整体上把握世界，世界又是有层次的，是可以从关系的分析入手来把握的，这也反映了它的原始朴素的系统整体思想。

第三，《周易》把世界看成一个动态的循环演化的系统整体。

在《周易》世界系统体系中，这个层次体系被看作是某种演化的结果。《系辞上传》说："是故《易》有太极，是生两仪，两仪生四象，四象生八卦"。《周易》创作之前是混沌未分的太极，太极产生天地阴阳两仪，两仪产生象征四时的老阳、老阴、少阳、少阴四象，四象产生乾、坤、震、巽、坎、离、艮、兑八卦。因此，《周易》体系，作为一种层次系统模式，实际上也是世界的生成演化的结果，同时也就是世界生成演化的模式，前者与后者是一致的，前者是从现存角度看问题，后者则是从演化角度看问题。

《周易》中，这种生成的、动态的朴素系统观，同时在两个层次上，即从爻作为卦的要素的层次，以及卦作为整个体系的要素的层次上，都得到了反映。从"八卦方位图"可见，六爻从初爻至上爻，迭次排列，代表事物由始到终的运动过程；当事物发展到上爻，过程终极，于是折返至初爻，周而复始，循环运动。八卦结构则从震起始，经历巽、离、坤、兑、乾、坎、艮，再折返于震，于是又进入新的一轮圆圈运动之中。

对于重卦构成的六十四卦，情形也大体仍然如此。这里不再进行进一步的讨论，所说可参见六十四卦方圆图。

我们在看到《周易》的朴素的系统观和系统思维的积极意义时，切不可忘记它只是相当原始意义上的朴素的系统观和系统思维，它是有其局限性的。其局限性，在上面的讨论中已经有所显露，

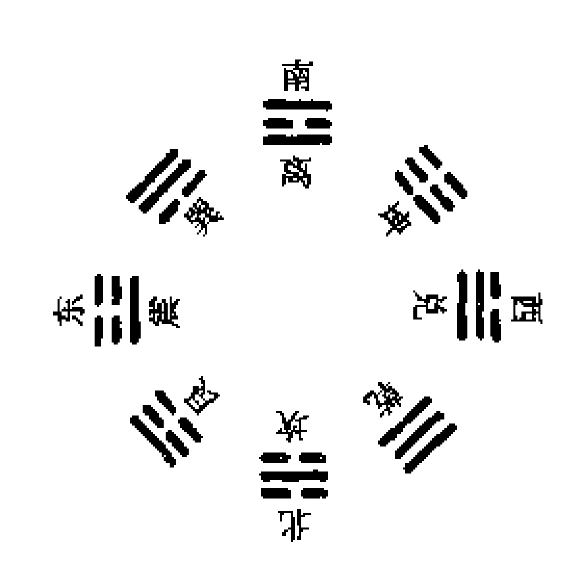



图 1-1-1 后天(文王)八卦方位图①

一是所谓的卦表现的是一种符号化的、介于感性认识和理性认识之间的抽象，并非科学意义上的抽象，它“把民族思维的抽象方式引向了失重纠缠着具象思维的偏向。”② 二是无论是卦的构成还是层次的形成，尽管其实质上以矛盾对立为基础、富有辩证思维，但却带有机械论的痕迹，即是以阴阳的“二进制”为唯一的基本形式。三是《周易》通篇都是讲变易的，但是总体上却是没有发展的，总体上只是回到原地的循环，周而复始，这就有了变化论之中的线性循环论。

## 1.2 阴阳五行说和《黄帝内经》的系统思想

在中国传统思维中，阴阳五行学说对于中国古代政治、文化、社会各个方面都产生了极为重要的影响，这里特别要指出的是它对于中国古代的科学技术具有极为重要的影响。

有一种看法认为，五行说是由八卦说演变而来的。八卦说含有

① 周易(BOOK OF CHANGES)，理雅各英译．秦颖、秦穗校注、今译．长沙：湖南出版社，1993 年

② 王树森著．周易与中华文化．北京：中国工人出版社，1993 年，179

天地生成万物的观念，五行说则吸收了这种思想，将其发展为元素生成万物的观念。

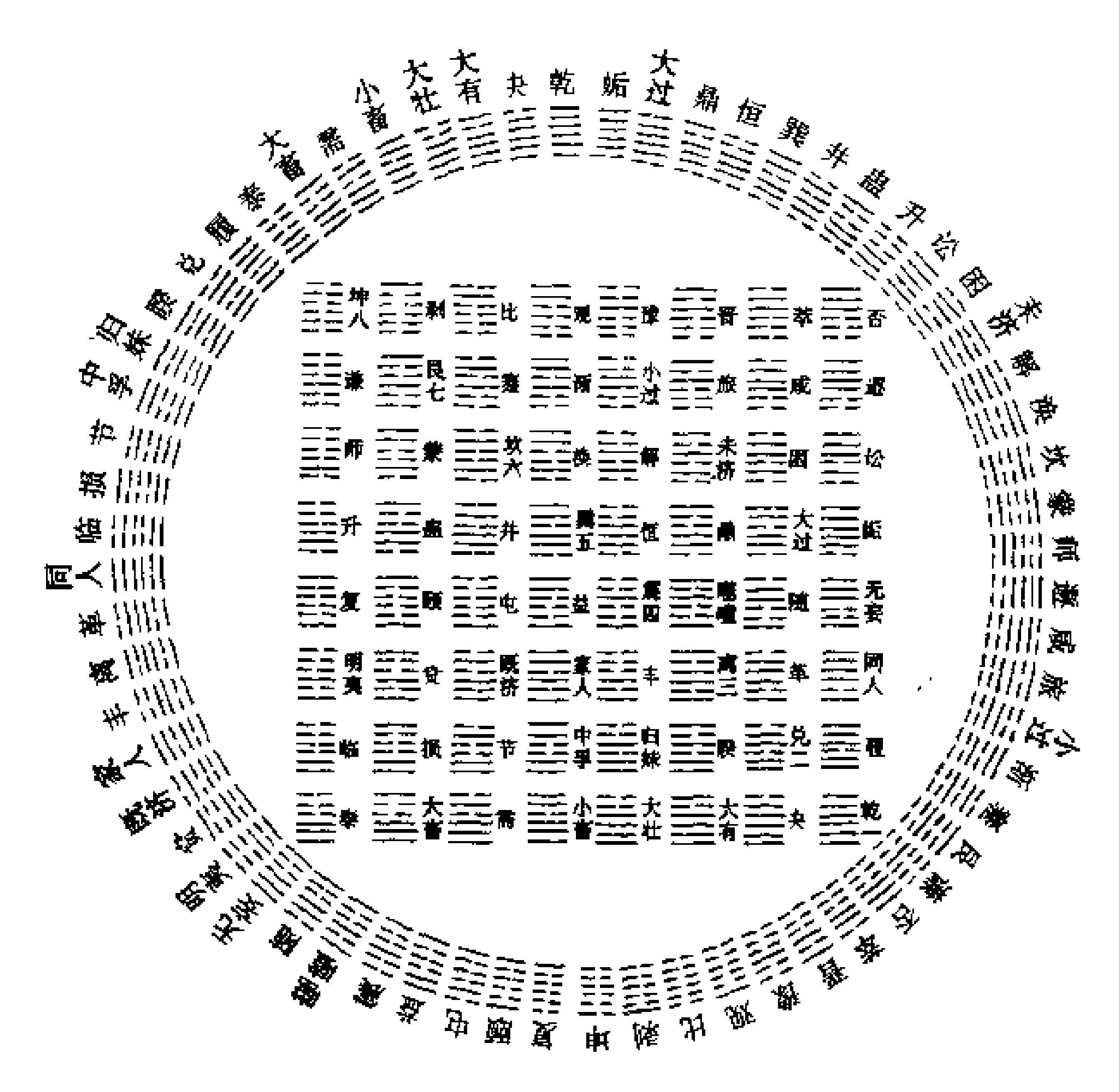



图 1-1-2　六十四卦方圆图①

《尚书》中，《洪范》篇已比较系统的记载了早期五行说的思想，原文是这样的："我闻在昔，鲧堙洪水，汨陈其五行。……五行：一曰

---

① 周易(BOOK OF CHANGES). 理雅各英译，秦颖、秦穗校注、今译. 长沙：湖南出版社，1993 年

水，二曰火，三曰木，四曰金，五曰土。水曰润下，火曰炎上，木曰曲直，金曰从革，土爰稼穑。润下作咸，炎上作苦，曲直作酸，从革作辛，稼穑作甘。"[①] 这里已经初步萌发了五行相克相生的思想，但是五行还没有与阴阳结合起来，而且五行并非仅仅是作为自然系统的构成元素提出来的，同时也是作为某种功能属性提出来的。按照李约瑟的看法："这一切指示说，五行的概念倒不是一系列五种基本物质的概念，而是五种基本过程的概念。中国人的思想在这里独特地避开本体而抓住了关系。"[②]

与《易经》谈阴阳不谈五行相反，《尚书》《洪范》篇中则谈五行不谈阴阳。到了春秋战国时期，五行学说明确起来，并逐渐与阴阳学说结合为一体。战国末年的邹衍（约前 305—前 240）被认为是把阴阳与五行说结合起来的一个重要人物。邹衍的著述已经失传，但据后人的记载，我们仍然可以了解到他的一些贡献。《史记》《孟子荀卿列传》中说他"乃深观阴阳消息，而作怪迂之变，终始大圣之篇。""称引天地剖判以来，五德转移，治各有宜，而符应若兹。"这里，一是他开始把阴阳与五行相结合，因为他既观阴阳消息，又谈五德转移；二是他做怪迂之变，大概是指把星相方术组织于阴阳五行观念之内；三是影响最大的"五德转移，治各有宜"，"五德终始说"认为每一个朝代配以一种五行之德，而以五行生克来表朝代之兴替，即木克土，金克木，火克金，水克火。这里，天人都统一以五德相胜的法则来解释。

西汉的董仲舒（前 179—前 104）使得阴阳五行学说形成一个完整体系，因而有了更大的影响。他在《春秋繁露》《五行相生》篇中写道："天地之气，合而为一，分为阴阳，判为四时，列为五行。"他还

---

① 江灏、钱宗武译注，周秉钧审校．今古文尚书全译．贵阳：贵州人民出版社，1990 年，233—235

② 刘君灿．生克消长——阴阳五行与中国传统科技．见：刘岱主编．格物与成器．北京：生活·读书·新知三联书店，1992 年，66—67

通过阴阳五行把天与人的关系更加具体化，用以强调天人感应，“人副天数”。总之，到了汉代，阴阳五行说已经得到了很大的发展，以此为基础的各种各样的具有五行统一性的自然系统和人事系统构造出来。

不过，历史上关于五行的秩序上，仍然有一定的分歧。李约瑟(D. M. Needham，1906—1995)也注意了这个问题，他写道：“当我们考虑在汉代被固定下来以及为各代所沿用的五行理论时，有两个方面是值得注意的。这就是：①排列的顺序，②象征的相互联系。”①

按照李约瑟引用他人的研究，可以区分出四种最重要的排列顺序。1. 生序：水、火、木、金、土；这是一种演化顺序，也是《洪范》中的顺序。2. 相生序：木、火、土、金、水；董仲舒采取的就是这种顺序。3. 相胜序：木、金、火、水、土；邹衍采取的就是这种顺序。4. “近代”序：金、木、水、火、土；在古代的典籍中虽然并不罕见，其意义却并不明显，但又成为现代中国语言中的通俗说法。这四种关系还可以直观地图示出来。李约瑟指出，从顺序 2 和 3 推出来两个原理——“相制原理”和“相化原理”。相制原理中，特定的毁灭过程被某种元素所“控制”，例如，木灭(胜)土，但金控制其过程；金灭(胜)木，但火控制其过程；火灭(胜)金，但水控制其过程；土灭(胜)水，但木控制其过程。相化原理同时依赖着相灭(胜)序和相生序，指的是由另一种过程来相化一种变化过程，而那另一种过程产生了更多的基质，或者所产生出的基质比被初级过程所能毁灭的基质更快，即有木灭(胜)土，但火相化这一过程；火灭(胜)金，但土相化这一过程；土灭(胜)水，但金相化这一过程；金灭(胜)木，但水相化这一过程；水灭(胜)火，但木相化这一过程。李约瑟指出，这两条原理

① 李约瑟著. 中国科学技术史第二卷. 北京、上海：科学出版社、上海古籍出版社，1990 年，266

在现代科学中也是具有意义的，在生物学的酶动力学中、生态学中，都有极好的例证。

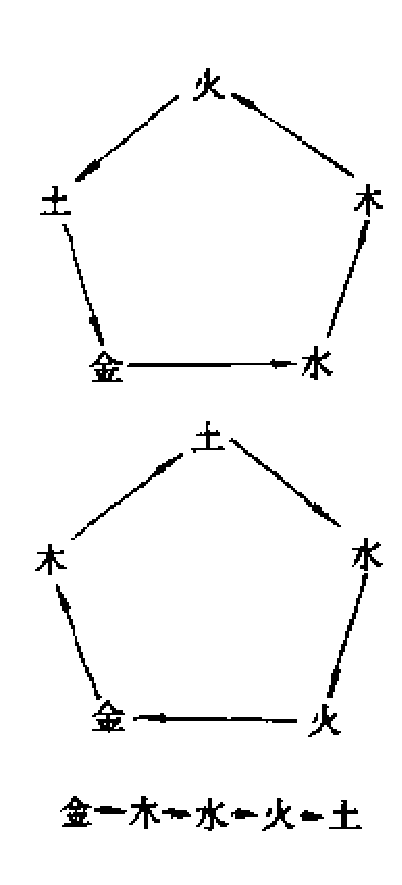



图 1-2-1　五行排列的顺序图①

在关于阴阳五行学说对于中国古代科技的影响中，我们可以特别提及它对于中医理论的影响。奠定中医理论基础的是《黄帝内经》，对于该书的成书，据认为是从周秦经历几百年到西汉才完成的。从那时起，阴阳五行学说就成为了中医的主要理论，并渐渐成为中医中的最高的、总体性的理论。

按照中医的阴阳五行学说，人体是一个有机的和谐整体，当阴

① 李约瑟著. 中国科学技术史第二卷. 北京、上海：科学出版社、上海古籍出版社，1990 年，276

阳失调时人就会生病。《黄帝内经》把人的身体结构看作是自然界的一个组成部分，人的养生规律与自然界的规律是密切相关的，提出了"天人相应"的医疗原则，主张把生理现象与自然现象相联系来治疗疾病，从自然现象、生理现象和神经活动三者结合起来考察疾病的根源。其中认为："阴阳匀平，以充其形，九候若一，命曰平人"(《素问·调经论》)，而"平人者不病"，(《灵枢·通天》)阴阳匀平之人就是健康之人。与此相反，"阴阳乖戾，疾病乃起"(《素问·生气通天篇》)，阴阳不和、不平就要生病。而且，人体与自然也是一个有机的和谐整体，天地之间也是阴阳二气的相互作用，阴阳平和也是其最好的状态，人体对于天地，"从其气则和，违其气则病"(《素问·五运行大论》)。

按照五行说，五行本来就代表着自然系统的五种基本要素，在中医理论中，进一步把五行与人体系统的五贼联系起来(不过，至少在后来的意义上，这里的五贼并不等于解剖学上的五贼)，从而以阴阳五行的相生相克来解释人体生理现象、以及人体与自然界之间的相互联系。这时，着重的不是五行本身，而是五行之间的关系。其中任何一个腑脏组织的生理活动，都是与整个身体的生理活动密切相联系的，腑脏要素影响着身体整体，身体整体也制约着腑脏要素；而且它们的关系又是向环境开放的，即又是受环境相互制约的。相应地，中医的治疗方法，也就不是头痛医头、脚痛治脚，而是进行整体的辩证施治，其中还包括身体对于环境的适应进行调节。由此可见，中医的整体的辩证施治观点，也十分明显地体现着朴素的系统思想，甚至可以说也在一定程度上体现了朴素的开放系统的思想。

## 1.3 道家的系统思想

道是中国哲学的最基本的范畴之一。殷周时期，道字首见于金文，其原始意义为道路，后来其涵意逐渐扩大，在《尚书》中被引伸

为皇天之道、王道和具体的道理和方法，《诗经》中的道亦为道理和方法。到春秋战国，诸子蜂起，百家争鸣，道家也形成了，成为其中一家。

道家的创始人是老子（约前580—前500），他以道为其学说的最高范畴。

老子认为，道为万物的本体及本原。《老子》[1]第一章写道："道，可道，非常道；名，可名，非常名。无名，天地之始；有名，万物之母。"第四章写道："道冲，而用之或不盈。渊兮，似万物之宗。"虚而无形的道是万物赖以存在的根据，又是派生万物的本原，天地万物都由道演化而来，"道生一，一生二，二生三，三生万物"（第四十二章）一是指天地万物形成之前的混沌未分的状态，一生二是天地、阴阳产生出来，天地、阴阳交合而生三即冲气，然后万物就产生出来了。

老子对于道作了许多叙述，张立文、岑贤安等人所著的《道》一书中将其归纳为具有如下三个特征[2]：

(1) 形上性。道视之不见，听之不闻，搏之不得，老子将其形容为"无状之状，无象之象"（第十四章）。它恍惚无象，超越形体，无法为人的耳目感官所认识，是超感觉的存在。

(2) 实存性。第二十一章说："道之为物，惟恍惟惚。惚兮恍兮，其中有象，恍兮惚兮，其中有物。窈兮冥兮，其中有精。其精甚真，其中有信。自今及古，其名不去。以阅众甫。吾何以知众甫之状哉？以此。"道虽然恍惚无形，不能被感觉到，但是却是确实存在的，因而人们可以根据它来认识万物的情况。

(3) 运动性。第二十五章说：道"独立而不改，周行而不殆，可以为天下母。吾不知其名，字之曰道。强为之名曰大。"道亘古存在，

---

① 任继愈译著. 老子新译（修订本）. 上海：上海古籍出版社，1985年

② 张立文、岑贤安等著. 道. 北京：中国人民大学出版社，1989年，40

独立不改，但又运动不息，是一切运动变化的根源。

因此，道不仅是对于天地万物的一种整体性的表述，而且是对于天地万物自发生成和发展的一种概括。

自老子从天道自然深入到本体论，在道为"万物之宗"基础上开辟道家学说之先河以后，庄子(约前369—前286)继承和发扬了老子的道为本体及运动规律的思想，进一步以道为其学说之核心，展开了他那汪洋恣肆的思想体系。

庄子继承和发扬了老子的道为产生万物的实在本体的思想。《庄子》《大宗师》篇中写道："夫道，有情有信，无为无形；可传而不可受，可得而不可见；自本自根，未有天地，自古以固存；神鬼神地，生天生地；在太极之上而不为高，在六极之下而不为深，先天地生而不为久，长于上古而不为老。"[①]《天地》篇中说："夫道，覆载万物者也，洋洋乎大哉！"《知北游》篇中又说："万物皆往资焉而不匮，此其道与。"

在庄子看来，道不仅是产生天地万物的实体，而且又支配天地万物的运动变化，是天地万物生长、发展和变化所必须遵守的规律。《天地》篇说："通于天者，道也"。道就是合乎于自然的法则。《渔父》篇中说："道者，万物之所由也，庶物失之者死，得之者生，为事逆之则败，顺之则成。"道存在于万物的发展变化之中，是万物发展变化所必须遵循的规律。

道是事物的本原，又是事物的法则，而且是处于自发的不断运动之中的。《天道》篇里说："天道运而无所积，故万物成"。天道的运行是不停顿的，所以万物得以生成。《庚桑楚》中借庚桑子的口说："夫春气发而百草生，正得秋而万宝成。夫春与秋，岂无得而然哉？天道已行也。"天道运行不止，才有春秋交替，春气勃发而百草生，秋季物熟得丰收。

---

① 陈鼓应注译.庄子今译今注.北京：中华书局，1983年

而且，人也是道的产物。《知北游》说："人之生，气之聚也；聚则为生，散则为死。"但是，气也是道的产物，所以人也最终是道的产物。而且，"精神生于道。"人的精神面貌是道所赋予的。《庄子》《德充符》篇中还写道："道与之貌，天与之形。"人的体形外貌同样是道所给予的。总之，天、地、人都是道的产物，天地人具有统一性，道是天地人的主体，也是天地人所必须运动遵循的规律和行动法则。

道家的系统思想，尤其是关于系统自发自组织的思想，受到当代系统思想家的高度重视。庄子在《天运》篇里的发问："天其运乎？地其处乎？日月其争与所乎？孰主张是？孰维纲是？孰居无事而推行是？意者其有机缄而不得已邪？意者其运转而不能自止邪？"当代著名科学家普里戈金说：庄子在这段话中提出的"这些问题对我们今天依然存在。"这也正是今天系统自组织理论所要解决的问题。他还相信："我们正是站在一个新的综合、新的自然观的起点上。也许我们最终有可能把强调定量描述的西方传统和着眼于自发自组织世界的中国传统结合起来。"[①]普里戈金在他与斯唐热(I. Stengers)合著的《从混沌到有序》一书中再一次强调了这种观点。普里戈金在首次访华的演讲中指出："西方科学和中国文化对整体性、协和性理解的很好的结合，这将导致新的自然哲学和自然观。"[②]

詹奇在他的《自组织的宇宙观》[③]一书中，就多次引用老子和庄子的论述来作为自己的中心思想的概括表述。首先，詹奇引用《庄子》《秋水》篇的下面一段话作为全书中心思想的概括："故曰，尽师是而非，师乱而无治乎？是未明天地之理，万物之情也。"他还

---

① 湛垦华、沈小峰等编著．普利高津与耗散结构理论．西安：陕西科学技术出版社，1982年，普里戈金的"序"

② 普里戈金．从存在到演化．自然杂志，1980年2期

③ 埃里克·詹奇．曾国屏、吴彤、宋怀时等译．自组织的宇宙观．北京：中国社会科学出版社，1992年

引用《至乐》篇的如下一段话，作为第二部分"大宇宙和小宇宙的共同进化：实在的对称破缺史"的基本思想的概括："天无为以之清，地无为以之宁，故两无为相合，万物皆化生。"第十六章"伦理、道德和系统管理"则引用《老子》第二章的一段话来进行概括："天下皆知美之为美，斯恶矣；皆知善之为善，斯不善矣。"

## 1.4 宋明理学的系统思想

理学是中国传统文化继汉文化之后的又一次重建。如果说汉文化的重建是中华本土各地区、各学派、各民族文化的综合创造，那么，宋文化，即理学的建立，则是外来文化和中国传统文化融合和再创造的产物。

周敦颐(1017—1073)是宋明理学的奠基人。他的太极阴阳说对于宋明理学大家二程(程颢；程颐)以很大的影响。北宋时期，儒学大家二程面对外来佛教文化的挑战，在前人思想的基础上，揉合佛道，以理为核心，创立了天理哲学，开创了宋明理学，以后从南宋末年一直到晚清理学都处于官方哲学的地位。

一般认为，周敦颐的易学来源于陈抟(871—989)的解易系统。以下的"先天太极图"据认为是陈抟传下来的。而它看来又是脱胎于道教的典籍《周易参同契》。无论如何，即使此图与陈抟的原图有所出入，其中所表达的一些思想，当出于陈抟无疑。周敦颐有诗赞陈抟："始见丹诀信希夷，盖得阴阳造化几。"[①]这个先天太极图，又称为"天地自然之图"。这个图式，后来影响极大，邵雍的"先天八卦方位图"，亦来源于此。

周敦颐著有《太极图说》等书。他的《太极图说》有"图"和"说"两部分，"说"是对"图"的解说。《太极图说》前半部分中写道："无极而太极。太极动而生阳，动极而静，静而生阴，静极复动。一动一静，

① 朱伯崑. 易学哲学史(中册). 北京：北京大学出版社，1988年，14页

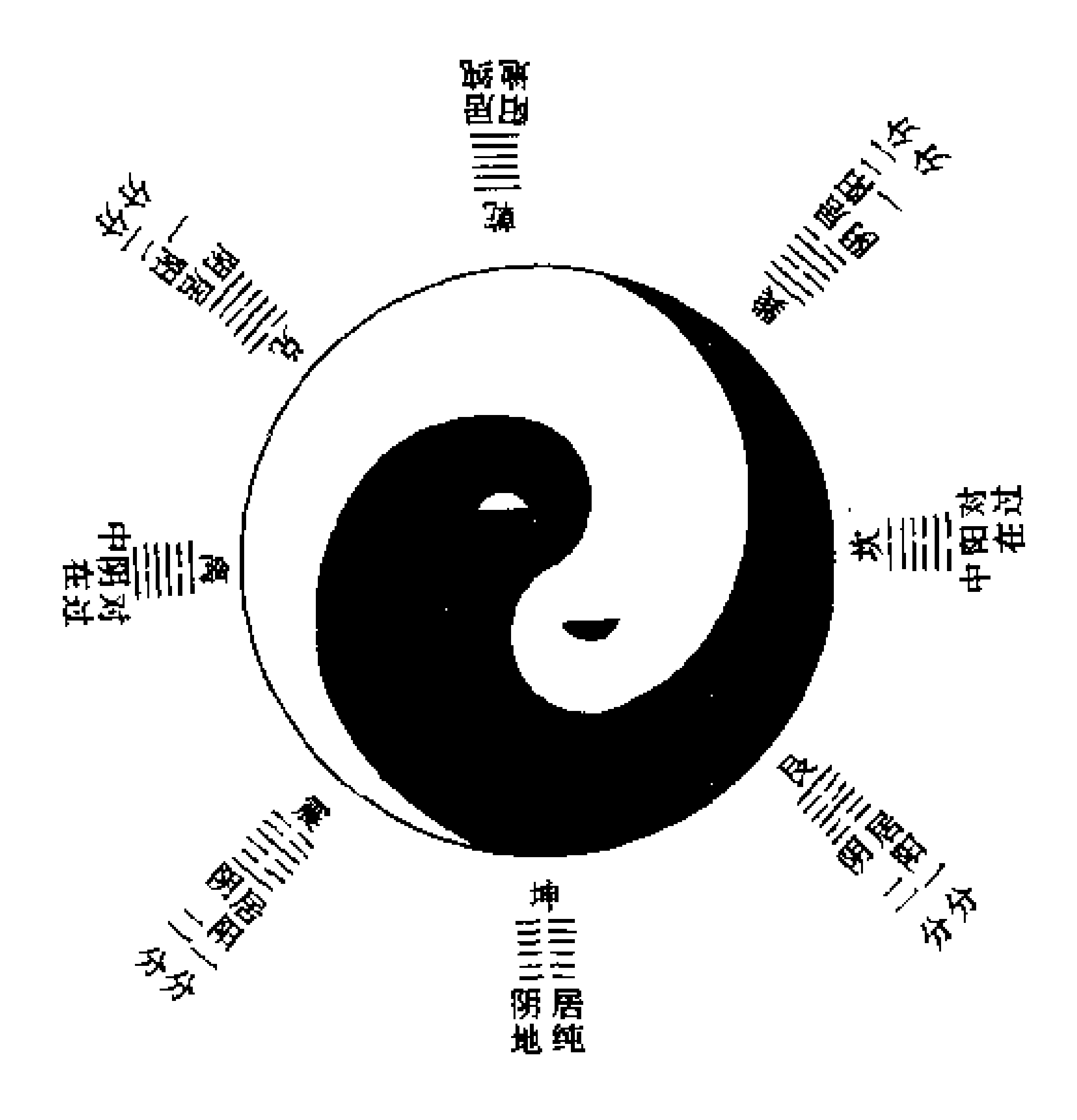



图 1-4-1　先天太极图[1]

互为其根；分阴分阳，两仪立焉。阳变阴合而生水火木金土，五气顺布，四时行焉。五行——阴阳也，阴阳——太极也，太极本无极也。五行之生也，各宜其性。无极之真，二五之精，妙合而聚。乾道成男，坤道成女。二气交感，万物化生，万物生生而变化无穷焉。”

《太极图说》的后半部分则紧接着将上述的天地宇宙秩序推进到人：“唯人也得其秀而为灵。形既生矣，神发知矣，五性感动而善恶分，万事出矣。圣人定之以中正仁义（自注：圣人之道，中正仁义

---

① 朱伯崑．易学哲学史（中册）．北京：北京大学出版社，1988 年

而已矣）而主静（自注：无欲故静），立人极焉。故圣人与天地合其德，日月合其明，四时合其序，鬼神合其吉凶。君子修之吉，小人悖之凶。故曰立天之道曰阴与阳，立地之道曰柔与刚，立人之道曰仁与义。又曰原始反终，故知生死之说大哉易也，斯其至矣！”

从而，周敦颐的《太极图说》中，把阴阳五行学说以及道家的思想融入他的儒家解易系统，实际上这也是在思想史上首次将道家和道教的无极观念引入儒家的解易系统。周敦颐还首次在思想史上创造性提出以阴阳动静来解释太极和两仪的关系，从而为儒家构成了一个整体的、分层次的、多阶段自发演化发展的天地人系统模式论，使得中国传统的系统思想推进到一个新的高度。

邵雍（1011—1077）与周敦颐是同时代人，他也是宋代理学的奠基人之一。邵雍所著《皇极经世》包括《观物内篇》和《观物外篇》，内篇侧重于易理，外篇侧重于象数。但邵雍解易并不讲卦象，而是在奇偶之数基础上讲卦象的变化，主张“数生象”，所以他的学说也就被称为数学。

邵雍的象数哲学也源于陈抟的先天图。邵雍认为，《周易》的卦爻辞乃文王之易，属于后天之学；他的兴趣在于先天易学即伏羲所画的先天图式，此图式有卦无文，其中尽备天地万物之理。朱熹将邵雍的伏羲先天图归结为四种，即伏羲八卦次序图，伏羲八卦方位图，伏羲六十四卦次序图，伏羲六十四卦方位图。四种图实际上又可分为两类，即卦次图和方位图。

卦次图在于说明八卦的起源和六十四卦的形成的次序。《观物外篇》说：“太极既分，两仪立矣。阳下交于阴，阴上交于阳，四象生矣。阳交于阴，阴交于阳而生天之四象；刚交于柔，柔交于刚生地之四象。于是八卦成矣。八卦相错，然后万物生焉。是故一分为二，二分为四，四分为八，八分为十六，十六分为三十二，三十二分为六十四。故曰分阴分阳，迭用柔刚，故易六位而成章也。十分为百，百分为千，千分为万，犹根之有干，干之有枝，枝之有叶，愈大则愈少，

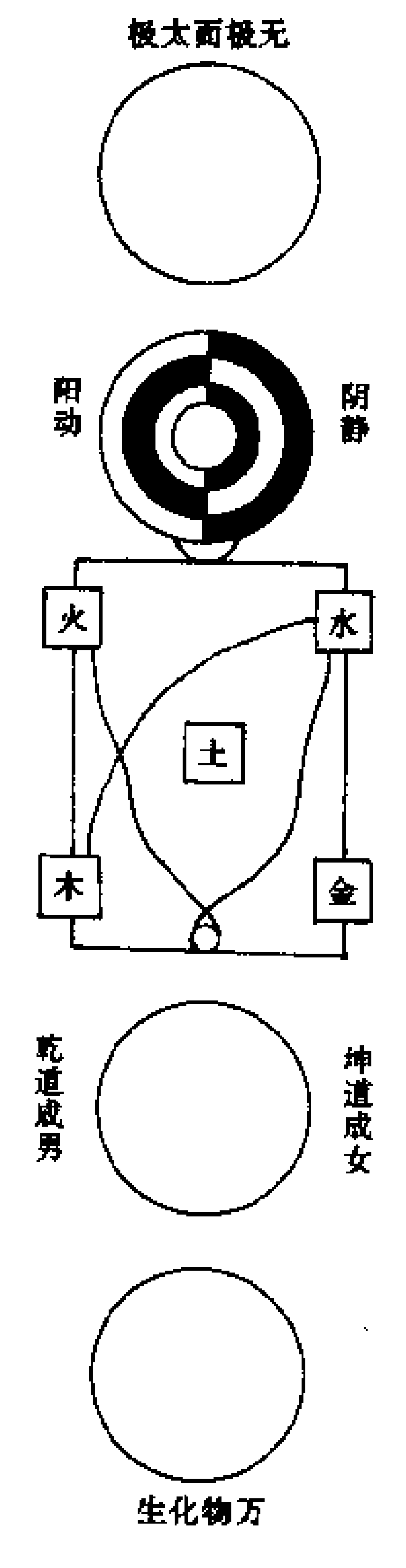



图 1-4-2　周敦颐的太极图①

① 朱伯崑. 易学哲学史(中册). 北京：北京大学出版社，1988 年

愈细则愈繁，合之斯为一，衍之斯为万。”这里讲了八卦的形成，也讲了六十四卦的形成。其中采用的数学方法，即一分为二法或加一倍法，同近代数学中的二进位制有相似之处，奇偶二数相当于二进制之中的 0 和 1 两个记号，加一倍法从两仪开始类似于逢二进位。所以，近代德国哲学家和数学家莱布尼茨(G. W. Leibniz，1846－1716)在看到邵雍的六十四卦次序图后，惊叹不已。

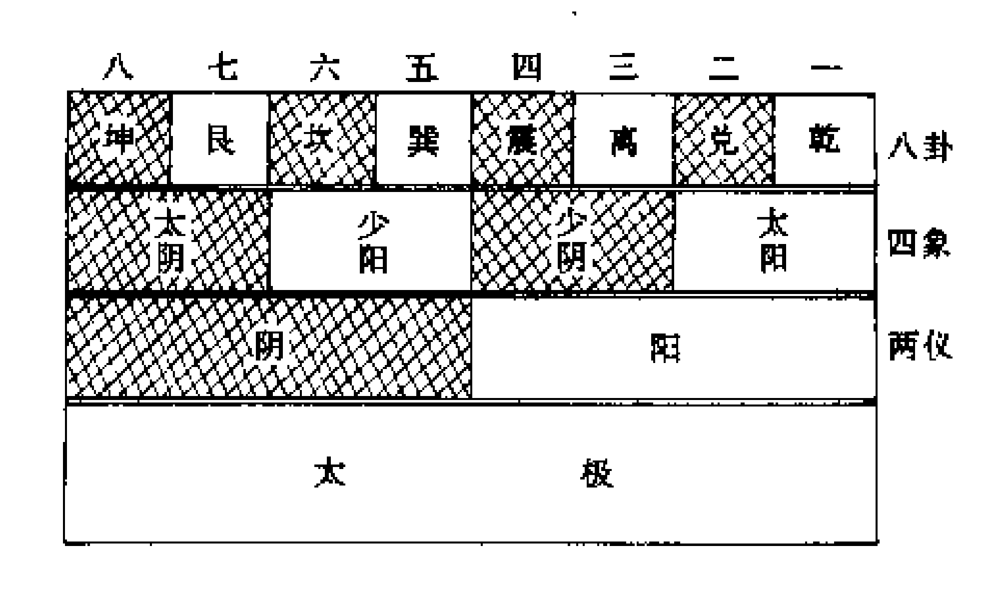



图 1-4-3　伏羲八卦次序图[1]

邵雍的卦形成次序图，不仅是以一种系统方式来解释卦的形成，而且也是以一种系统方式来解释世界的形成。《观物外篇》里就这样写道：“阴阳分而生两仪，两仪交而生四象。故两仪生天地之类，四象定天地之体。四象生日月之类，八卦定日月之体。八卦生万物之类，重卦定万物之体。类者生之序也，体者象之交也。推类者必本乎生，观体者必由乎象。生则未来而逆推，象则既成而顺观。是故日月一类也，同出而异处也，异处而同象也。推此以往，物焉逃哉！”系统的逻辑顺序与自然的生成顺序的一致，结构论与发生论的统一，整体性与层次性的有机结合，是邵雍阴阳宇宙系统学说的

---

① 朱伯崑．易学哲学史(中册)．北京：北京大学出版社，1988 年

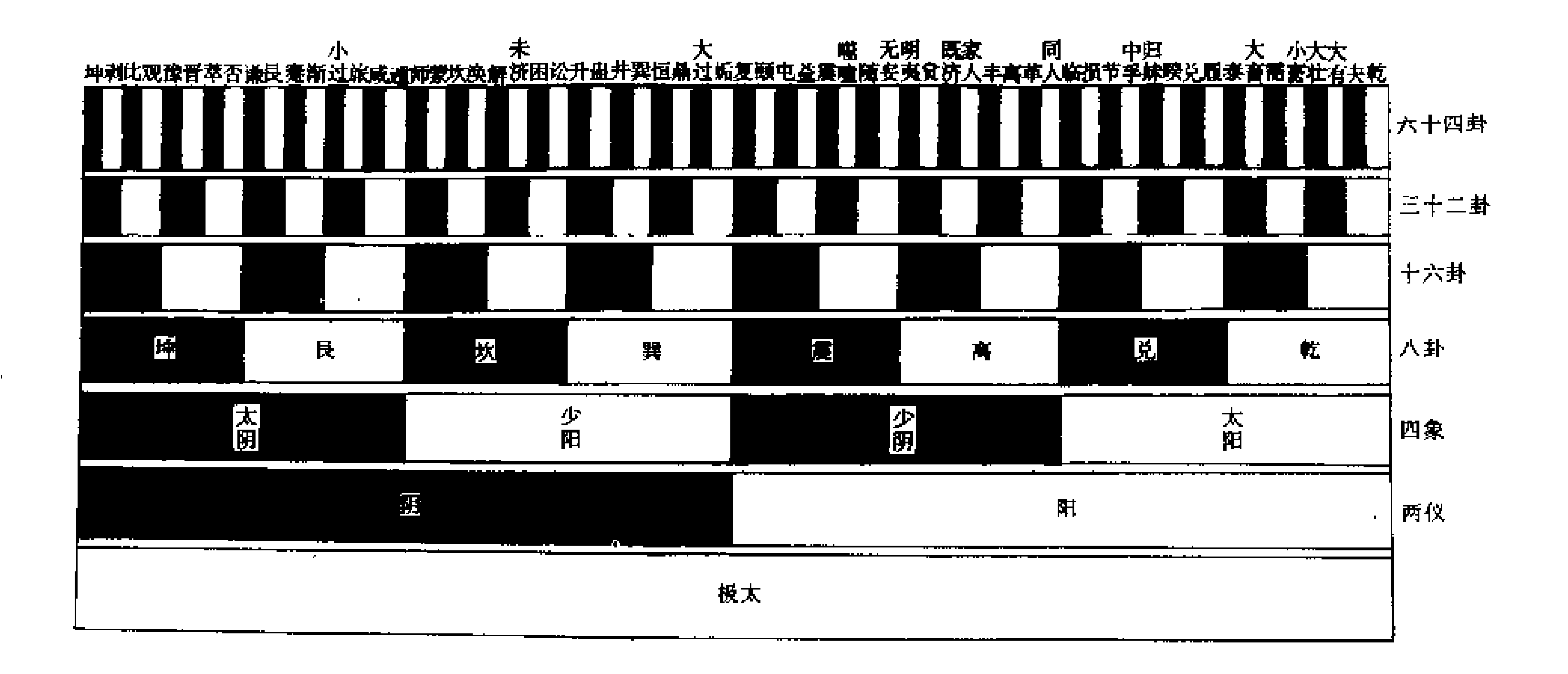



图 1-4-4　六十四卦次序图①

① 朱伯崑. 易学哲学史(中册). 北京：北京大学出版社，1988年

一大特色。

邵雍还提出了“伏羲八卦方位图”。此图的理论意义在于说明一年四季的变化与阴阳消长的过程。通过八卦方位同四时变化联系起来，一次说明事物的运动变化，特别是天时和季节的变化及其规律性。

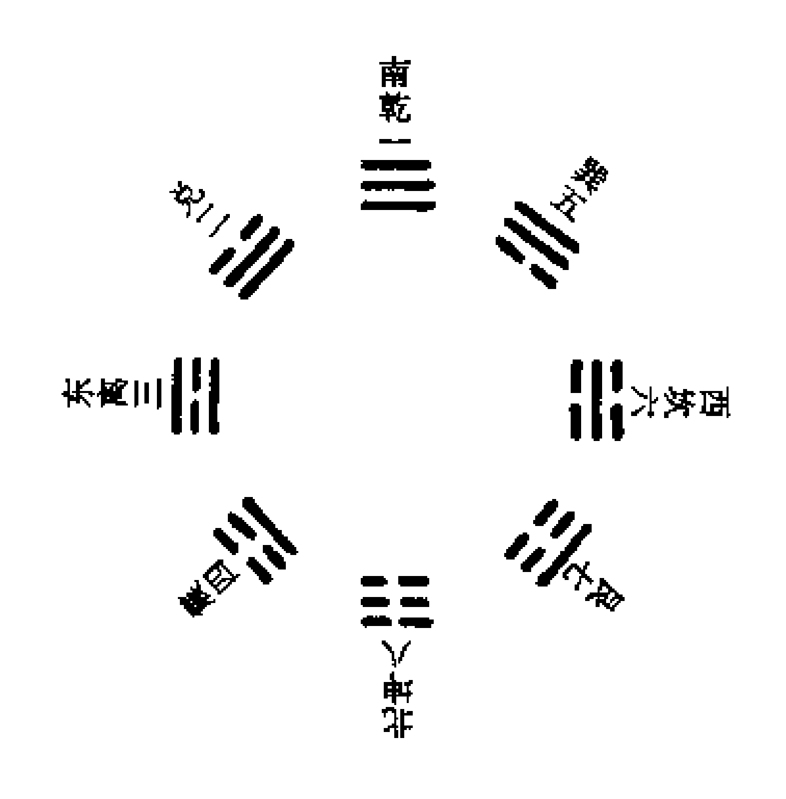



图 1-4-5　先天(伏羲)八卦方位图[1]

邵雍把伏羲八卦方位图加以推演，得出了伏羲六十四卦方位圆图，并进而又提出了六十四卦方位方图。邵雍认为，圆图象天，方图象地，天圆地方，天地相涵；于是把圆图与方图合起来，即把方图置于圆图中，就得到了六十四卦方圆图(参见：本书1.1)六十四卦图本义是说明一年四季的季节变化的，邵雍还进一步将其用来说明万物的生长、社会的兴衰、世界的生成和循环。

---

① 周易(BOOK OF CHANGES). 理雅布英译. 秦颖、秦穗校注、今译. 长沙：湖南出版社，1993年

从六十四卦圆图出发，邵雍还创制了一个“皇极经世图”。这是一个历史年表，用来说明人类历史的演变，进而用来说明宇宙历史的演变和循环。《观物内篇》说：“日经天之元，月经天之会，星经天之运，辰经天之世。以日经日，则元之元可知矣。以日经月，则元之会可知矣。以日经星，则元之运可知矣。以日经辰，则元之世可知矣。以月经日，则会之元可知矣。以月经月，则会之会可知矣。以月经星，则会之运可知矣。以月经辰，则会之世可知矣。以星经日，则运之元可知矣。以星经月，则运之会可知矣。以星经星，则运之运可知矣。以星经辰，则运之世可知矣。以辰经日，则世之元可知矣。以辰经月，则世之会可知矣。以辰经星，则世之运可知矣。以辰经辰，则世之世可知矣。”这样就肯定了计算时间的算法，进一步就可以计算宇宙年谱了，这就是：“元之元一，元之会十二，元之运三百六十，元之世四千三百二十。元之会十二，会之会一百四十四，会之运四千三百二十，后之世五万一千八百四十。运之元三百六十，运之会四千三百二十，运之运一十二万九千六百，运之世一百五十五万五千二百。世之元四千三百二十，世之会五万一千八百四十，世之运一百五十五万五千二百，世之世一千八百六十六万二千四百。”

邵雍在这里推导的许多数字并无多少科学依据，但他肯定世界有生有灭，宇宙有其层次、周期和循环的整体连续过程，则是对中国传统系统思维的贡献。

## 1.5 《孙子兵法》的系统思想

《孙子兵法》是中国现存最早的一部完整的兵法，为春秋时期孙武所作，成书时间据《史记》记载约公元前 500 年左右。这在 1972 年山东临沂银雀山西汉古墓出土文物《孙子兵法》竹简查证，与现存的《孙子兵法》原文只是略有出入，从而基本上验证了司马迁(约前 145/前 135—?)的记载。

中国历代研究《孙子兵法》的将领，见之历史记载的很多，战国时代的孙膑，西汉的张良、韩信，三国的诸葛亮、曹操，唐代李世民、李靖，宋代的岳飞、李刚，元代的耶律楚材，明代的刘伯温，清代的曾国藩等等。毛泽东对《孙子兵法》作过高度的评价，刘伯承不仅精通它，还亲自动手将其译为外文。

《孙子兵法》在唐代就已传入日本，并得到广泛研究。自从1772 年译为法文以来，陆续被译为各种主要外文，并得到高度重视。拿破仑在作战中就经常批读《孙子兵法》，德皇威廉二世在第一次世界大战失败后读到《孙子兵法》时叹息："可惜多年前没有看到这本书"。在当代则更是受到世界上的普遍重视，20 世纪 8 0 年代掀起了"孙子"热，并将其思想运用到军事以外的管理等领域之中。《孙子兵法》一书在当代世界之所以受到如此高度的广泛重视，很重要的一点就是其中丰富的系统运筹思想。这里只能涉及其中之一二。

首先，在《孙子兵法》中，系统思想体现在该书从全面战略高度来讨论战争、注意战略与战术的结合。

陶汉章指出：《孙子兵法》对于当代战略思想产生重要影响，是其"提出了一个与现时世界统称的'综合国力论'相似的理论——全面的战略理论。……可以看出，其中大致包括以下几个方面：一、政治，二、经济，三、军事，四、外交，五、士气，六、人的能动性（即战略战术的运用）。"[①] 综合国力竞争战略形成于 20 世纪 80 年代，所谓综合国力是指一个国家所拥有的全部实力和潜力以及在国际社会中的影响力，是生存力、发展力和协同力三者的有机综合，因此实际上是一种开放系统的整体力量。一个国家只有在综合国力建设基础上的强盛，才能立于不败之地，就能真正实现"不战而屈人之兵"（《孙子兵法》《谋攻篇》）的全胜战略思想。

---

① 陶汉章. 孙子兵法概论. 北京：解放军出版社，1985 年，63

《孙子兵法》开章明义的第一条就是："兵者，国之大事"。这里一开始就强调战争是国家大事，而决非军事家的事。所以，紧接着就有，"故经之以五事校之而索其情：一曰道，二曰天，三曰地，四曰将，五曰法。"这里指出了要从道、天、地、将和法五个方面系统地分析研究战争，而不可能就战争而论战争，因为战争系统只是社会大系统中的一个子系统，它只能是在整个社会诸因素的制约之中发挥作用。《孙子兵法》中，对此有许多精湛论述。实际上，《孙子兵法》的前四篇是侧重于从整体入手进行战略分析的，后九篇中则主要是侧重分析战术，而且在进行战术分析时总是注意放入战略布局之中、站在战略高度来加以分析，通篇都注意整体与部分、战略和战术的衔接。

其次，《孙子兵法》用动态系统运筹的观点对战争进行了淋漓尽致的分析，达到了很高的水平。

在《孙子兵法》看来，系统运筹对于战争的成败至关重要，甚至可以预见战争的成败。《计篇》中写道："夫未战而苗算胜者，得算多也，未战而苗算不胜者，得算少也。多算胜，少算不胜，而况于无算乎！吾以此观之，胜负见矣。"

《谋攻篇》说："凡用兵之法，全国为上，破国次之；全军为上，破军次之；全旅为上，破旅次之；全卒为上，破卒次之；全伍为上，破伍次之。是故百战百胜，非善之善者也；不战而屈人之兵，善之善者也。""故上兵伐谋，其次法交，其次伐兵，其下攻城。攻城之法为不得已。"这里实际上已经体现了系统运筹战争的层次分析，战争是有层次性的，对于战争的系统运筹也就是有层次性的，整体战略运筹帷幄与具体战术研究实施的衔接是有层次性的。

《孙子兵法》中，还特别注意对于军事与政治联系、经济实力以及后勤保障等诸方面结合起来进行整体的的系统运筹。例如，《作战篇》里就颇为定量地分析了国家经济实力与兴兵打仗的制约关系："凡用兵之法，驰车千驷，革车千乘，带甲十万，千里馈粮；则内

外之费，宾客之用，胶漆之材，车甲之奉，日费千金，然后十万之师举矣。"

战争的综合运筹中，还包括行军作战中考虑到地理、地形、地势的系统运筹。"故不知诸侯之谋者，不能豫交，不致山林、险阻、沮泽之形者，不能行军，不用乡导者，不能得地利；故用兵以诈立，以利动，以分合为变者也；故其疾如风，其徐如林，侵掠如火，不动如山，难知如阴，动如雷震；掠乡分众，廓地分利，悬权而动。先知迂直之计者胜。此军事之法也。"(《孙子兵法》《军事篇》)《行军篇》和《地形篇》都较多讲到这种关系，例如《行军篇》说："凡处军相敌：绝山依谷，视生处高，战隆无登，此处山之军也。绝水必远水，客绝水而来，勿迎之于水内，令半济而击之，利；欲战者，无附于水而迎客；视生处高，无迎水流，此处水上之军也。绝斥泽，惟亟去无留；若交军于斥泽之中，必依水草而背众树，此处斥泽之军也。平陆处易而右背高，前死后生，此处平陆之军也。凡此四军之利，黄帝之所以胜四帝也。"《地形篇》说："地形有通者，有挂者，有支者，有隘者，有险者，有远者。……凡此六者，地之道也；将之至任，不可不察也。"《孙子兵法》中还有许多这样精辟分析，这里就不一一列举了。总之，正如《地形篇》中所说："夫地形者，兵之助也。料敌制胜，计险远近，上将之道也。知此而用战者必胜，不知此而用战者必败。"

在《孙子兵法》看来："兵非益多也，惟无武进，足以并力、料敌、取人而已"。打仗并不在于兵力越多越好，只要不轻敌冒进，反而能集中兵力、合理组织、察明敌情，就可以战胜敌人。

《孙子兵法》中，动态运筹优化的论述很多。开篇《计篇》中就多次有动态运筹的论述，例如其中写道："计利以听，乃为之势，以佐其外。势者，因利而制权也。"这里强调了，造势也是一个动态过程，是要根据实际情况的变化而采取相应的措施才能实现的。

在战争中进行系统运筹，从而实现在运动调整之中来优化作战方案。运筹优化，实际上是在动态之中实现的。在《谋攻篇》中就

写道："故用兵之法，十则围之，五则攻之，倍则分之，敌则能战之，少则能逃之，不若则能避之。故小敌之坚，大敌之擒也。"有十倍于敌的兵力，就要围歼之；有五倍于敌的兵力，就要进攻敌人；有一倍于敌人的兵力，就要设法分散敌人的兵力；与敌人的兵力相等，就要设法才能战胜敌人；比敌人兵力少，就要善于摆脱敌人；各方面都不如敌人，就要设法避免与敌作战。弱小的军队如果只知坚守硬拚，就会成为强大敌人的俘虏。

动态运筹之所以重要，其原因在于战争本身是一种动态系统的过程，所以才需要根据战争的条件变化来制订和调整作战方案，才能克敌制胜。"攻其无备，出其不意。此兵家之胜，不可先传也。"(《计篇》)这也只能根据实际情况进行动态调整才能实现。《九变篇》里对于从实际情况出发调整作战方案更有进一步的的论述。

动态运筹之所以重要，而且也因为在动态之中才能实现兵力、力量的优化。《势篇》说："故形人而我无形，则我专而敌分；我专为一，敌分为十；是以十攻其一也，则我众而敌寡；能以众击寡者，则吾之所与战者约矣。……寡者，备人者也；众者，使人备己者也。"这里就明白表述了动态优化的思想。这也如《九变篇》中强调的："治兵不知九变之术，虽知五利，不能得人之用也。"《九地篇》里所说的："践墨随敌，以决战事。"

第三，强调了信息和控制对于战争的重要性。

知己知彼，百战不殆，这是《孙子兵法》中的至理名言。毛泽东曾高度肯定过这一思想。该原文在《谋攻篇》是这样提出来的："知己知彼者，百战不殆；不知彼而知己，一胜一负；不知彼，不知己，每战必殆。"在《地形篇》又强调："知己知彼，胜乃不殆；知天知地，胜乃不穷。"

要做到知己知彼，要对于对方有透彻的了解，就要重视信息和控制的重要作用。《孙子兵法》中的《用间篇》，就专门强调了解对方情况的重要性。《孙子兵法》在这里强调："不知敌之情者，不仁之至

也，非人之将也，非主之佐也，非胜之王也。故明君贤将，所以动而胜人，成功出于众者，先知也。”而要真正实现“先知”，就不能依靠迷信占卜、天象类比，而要实现了解敌情，“先知者，不可取于鬼神，不可象于事，不可验于度。必取于人，知敌之情者。”以致于，“三军之事，莫亲于间，赏莫厚于间，事莫密于间。”“故明君贤将，能以上智”，而要做到“先知”就不能依靠“为间者，必成大功，此兵之要，三军之所恃而动也。”整个军队，都要依靠间谍提供的情报来采取行动。

带兵打仗，信息通讯和控制问题都是非常重要的。《九地篇》说：“将军之事，静以幽，正以治。”也讲的是这样的意思。沟通信息很重要，而且沟通信息的过程也是对于军队进行控制的过程。例如，《军事篇》里就写道：“《军政》曰：‘言不相闻，故为金鼓；视不相见，故为旌旗。’夫金鼓旌旗者，所以一人之耳也；人既专一，则勇者不得独进，怯者不得独退，此用众之法也。故夜战多火鼓，昼战多旌旗，所以变人耳目也。”

所谓控制，就是正确地实施信息通讯，达到组织合理，使得军队步调一致，“凡治众如治寡，分数是也；斗众如斗寡，形名是也”。要做到治理人数众多的军队象治理少数人一样，这是组织编制问题；要做到指挥人数众多的军队作战象指挥人数少的军队作战一样，这是通讯、指挥问题。

对于战争的控制是一个问题的两个方面，一方面是使得自己组织有序，另一方面是调动对方，使得敌人混乱无序。《孙子兵法》《行军篇》写道：“故令之以文，齐之以武，是谓必取。”《势篇》写道：“纷纷纭纭，斗乱而不可乱也；浑浑沌沌，形圆而不可败也。乱生于治，怯生于勇，弱生于强。治乱，数也；勇怯，势也；强弱，形也。故善动敌者，形之，敌必从之；予之，敌必取之。以利动之，以卒待之。”破坏敌方的秩序，就要“出其所不趋，趋其所不意。”（《序实篇》）

## 1.6 都江堰和群炉汇铸

中国古代，不仅自发地运用系统概念考察自然现象，而且还用这种观点来指导自己的实践，指导对自然的改造，因而在许多工程中采用了系统方法，创造了许多著名的系统工程。

名扬中外的都江堰，就是其中的一个宏大的防洪灌溉系统工程。

都江堰在成都平原西部灌县附近的岷江上。岷江水源旺盛，自四川北部高山竣岭中急流而下，流到灌县一带，地势突然平坦，流速骤减，泥沙淤积于河床。每当夏季水量集中，再加之雪水融注，常常发生季节性水患，西岸洪水为害，而东岸常呈旱象。

战国初期，蜀人凿开玉垒山，分引岷江水流，情况始才有所改善。正是在前人治水经验的基础上，公元前 250 年秦国蜀郡郡守李冰父子主持修建了都江堰。李冰有渊博的天文地理知识，他在担任蜀郡郡守期间，亲自对灌县、成都一带的岷江进行了周密勘察，吸取前人的治水经验，巧妙地利用了当地自然条件，制订了修建都江堰的规划。在李冰父子的率领下，广大民工经过多年的努力，克服种种困难，终于创造了这项人类水利史上的奇迹。

都江堰由鱼嘴分水工程、飞沙堰分洪排洪工程，宝瓶口束水工程三项主体工程巧妙结合而成。主体工程延绵约三公里，与一百二十个附属渠堰工程形成相互联结的有机整体。

分水鱼嘴筑于岷江河道正中天然的江心洲北端，形状前尖后宽如鱼嘴，将岷江分为东西二流，东流为内江，用以灌溉成都平原，西流为外江，是岷江正道，主要用于排洪。为减少对于弯曲河岸的冲刷，调节流量，在鱼嘴上游还修建了百丈堤和走道斜向的挑水坝。堤坝与鱼嘴均由装满卵石的竹笼垒成。竹木可以就地取材，十分便利。李冰设计的精妙之处还在于，利用鱼嘴、上游堤坝和四周的地形地势，使之不仅具有分流引水的作用，而且还可以有自动控

制水量的作用。春耕季节灌溉用水量大，较大比例的水量分流入内江，较少的水量流入外江。夏季洪水到来时，这种比例就自动地颠倒过来了，形成了"分四六、平潦旱"的情况。

飞沙堰是一座在内金刚堤南端、内江左岸虎头岩对面筑起的溢水坝。分水鱼嘴及江心洲左右两侧筑有堤坝，面对内江的称为内金刚堤，面对外江的称为外金刚堤，二堤均高于岷江的洪水位，保证内江与外江相互分隔。沿金刚堤，设有溢缺，以备内江泄洪。飞沙堰的堰高设计以内江灌溉所需水量为准，使得通过飞沙堰，当内江水量超过所需限度时，多余的水可以从飞沙堰自动穿过江心洲，泄入外江正流。如遇特大洪水，飞沙堰还会自动决堤，使洪水顺畅排出，以保证进入灌区的水量不会造成水患。

宝瓶口是灌溉水流流入灌区的咽喉要道。内江流至飞沙堰，为将其水引入成都平原的灌渠，须经过玉垒山伸向岷江的一道岩石长脊，李冰指挥民工在这里开凿了一个门口，状似瓶口，故名宝瓶口。内江通过宝瓶口，经下段仰天窝等节制闸，一分二，二而四，一分再分，缓缓流入农田灌渠。这里利用了成都平原西北高东南低的地势，形成扇形自流的灌溉网络系统。为了准确测定引水量，古人在宝瓶口边作"三石人，立于水中"(《华阳国志・蜀志》)，并刻字标明"乾毋及足，涨毋没肩，年中水量，以此为度。"[①] 后来又在宝瓶口左侧山石上，刻上标度，称"水则"，用以测量水位。

宝瓶口与岷山正流之间，留有一座砾岩山丘，名离堆。宝瓶口小，内江水流至此受到遏制，于是在右侧离堆的顶托作用下，形成一个巨大的回旋流。正是这个人工形成的回旋流，将内江上游冲刷下来的泥沙卵石甩向飞沙堰，从而保证了宝瓶口和下游灌渠不致淤塞。据实地勘测，被回旋流从飞沙堰抛到外江滩上的巨石，有达千斤者。

---

① 刘长林. 中国系统思维. 北京：中国社会科学出版社，1990 年，536

都江堰由相对简单的几项工程的有机地结合起来而成，获得了任何一项单独的工程都不可能取得的效应。都江堰系统工程的的建成，使成都平原十四个县五百万多亩(古亩)农田受益，使之获得天府之国的美誉。分水鱼嘴工程随季节自动控制流量，飞沙堰自动调节内江水位，自动排除泥沙卵石，宝瓶口顺利地将江水导入成都平原的自动灌溉系统，形成了自动分流、溢洪排沙、自动灌溉三项效能的综合。反过来说，没有分水鱼嘴工程，就不可能实现分流和自动调节流量；没有宝瓶口的束水作用和附属部分离堆的顶托作用，就不会形成回旋流，泥沙就过不了飞沙堰，于是又会造成宝瓶口被沙石堵塞，内江之水就无法流入成都平原；总之，没有这几项工程的有机结合，就没有了都江堰的综合效能。

尽管都江堰工程是在两千多年前实现的，但是它的规划、设计和施工的科学水平和创见，用今天的系统工程方法来衡量也毫不逊色。李冰所制订的“深掏滩，低作堰”的岁修原则，“遇弯截角，逢正抽心”治水方针，以及整个工程“因势利导，因时制宜”的指导思想，也留给我们许多启示。

群炉汇铸，也是我国古代著名的系统工艺技术。

今日尚存的明代永乐年间铸成的万钧大钟，重达40多吨，采用的正是这种工艺汇铸而成的。当时的熔炉高仅一丈二尺，容量只有一吨。工匠们在铸件周围建起一系列熔炉，使其总容量与铸件重量相等，炉群位高，铸型位低，各炉槽均作辐射状通向铸型。安排停当以后，各炉同时升火冶炼，炼成的金属溶液一齐汇流铸型，万钧大钟倾刻铸成。另外，与此相似，我国古代还发明了连续浇铸工艺，就是由多个熔炉先后鼓风冶炼，然后依次连续浇铸而成。这里一是要有一个整体观点，二是每一项技术工艺都需要注意内部环节之间的有机联系以进行合理部署，三是工艺之中包含了整体优化原则。

值得指出的还有，万钧大钟不仅其浇铸工艺是系统理论的成

功实践，而且钟本身便是一个结构最佳的合金系统。现代声学研究表明，这口大钟有 46.5 吨重；化学分析表明其合金比例是铜 80.54%，锡为 16.4%，铅为 1.12%，其他金属少量，被认为是最佳比例结构，所以它的音质悦耳、幽雅感人，音响更是纯厚绵长、圆润宏亮、而且节奏明快、穿透力强，钟声可达百里之遥。这种最佳的合金结构，还使得它具有了耐蚀的功效，历经 500 余年而葆其魅力。

我们要是正确地提出和评价现代系统思想，则不能把它们看作一时时髦的产物，而应把它看作与人类思想史交织发展的一种现象，从某种意义上可以说，自最古时代起，在欧洲哲学中就存在系统的概念。

贝塔朗菲(L. v. Bertalanffy，1901—1972)

"普通系统论的历史和现状"

# 2 西方传统系统思想

在人们自觉认识到系统思想之前，人们就在进行着系统思维。在西方传统思维中，特别是在近代科学中，分析的方法长期占有突出的主导地位，可是其中也不乏系统思维方法，也有许多系统思想的东西闪闪发光。

## 2.1 古希腊的系统思想

古希腊哲学是以宇宙体系论时期开始的。名垂青史的米利都学派开创了这一时期。泰勒斯(Thales，约前 624—约 547)提出了"水是万物的始基"这一命题，试图通过找出万物的始基来整体地把握世界。按照泰勒斯，世界在不断地运动和循环变化之中，生生不息的世界具有统一性，是可以通过把握其始基来整体地把握的。

稍后的毕达哥拉斯(Pythagoras，约前 570—约前 490)学派则提出"数是万物的始基"的命题，这个命题比泰勒斯的命题具有更高的抽象性。恩格斯指出：在毕达哥拉斯思想中，"数服从一定的规律，同样，宇宙也是如此。于是宇宙的规律性第一次被说出来

了。"[1]在毕达哥拉斯学派看来，数体系的和谐就是宇宙的和谐，而且也是社会秩序的和谐、音乐的和谐。于是，数学体系就反映了宇宙体系，数学结构就代表了宇宙结构，数学关系就代表了宇宙自然过程。

古希腊朴素辩证法的奠基人赫拉克利特(Herakleitos，约前540－前480)认为，世界万物的始基是火，一切都是火的变形，火变成万物，万物复归于火。这个始基的侧重点不是某种实物或实体，而是过程和流变。世界系统是一个过程系统，赫拉克利特于是就为后人奠定了一种过程世界观的基础。而且，世界的永不停息的运动变化是有规律、有秩序的，这个事物的规律、秩序是火的属性，叫做"逻各斯"。赫拉克利特认为真正的智慧就是认识逻各斯，他说："不是听从我而是听从逻各斯，同意一切是一，这就是智慧。"[2]他还进一步说，要认识逻各斯也就是"要抓住：整体的东西和非整体的东西，接近的和分离的，和谐的和不和谐的，从一切事物而有一〔个事物〕和从一个事物而有一切〔事物〕。"[3]于是，赫拉克利特就提出了整体和部分的辩证法问题，并将其作为真正的智慧的内在内容之一。

德谟克利特(Demokritos，约前460—约前361)是古希腊原子论的创立者，马克思和恩格斯称他是"经验的自然科学和希腊人中的第一个百科全书式的学者。"他创立的原子论，就是对于构成宇宙系统的系统要素的天才猜测。按照德谟克利特的宇宙系统论，世界的始基是原子，不可分的原子结合起来就形成了万事万物，甚至灵魂也是精细的原子构成的。德谟克利特以其原子论强调了系统的要素方面，他实际上也就肯定了系统总是由要素组成的，终极要素构成了系统，同时也决定了系统。他是一位百科全书式的人物，

---

① 恩格斯.自然辩证法.北京：人民出版社，1971年，166

②、③ 杨适著.哲学的童年.北京：中国社会科学出版社，1987年，177，179

自然哲学方面的主要著作有《大宇宙秩序》、《小宇宙秩序》和《论自然》等等，但均已失传，只留下部分关于社会伦理道德及政治方面的残篇。

柏拉图(Platon，前 427—前 347)的老师苏格拉底(Sokrates，前 468—前 399)注重道德哲学，反对研究自然，他认为可以通过问答和批评讨论来揭示事物的真谛，奠定了辩证方法的系统运用。柏拉图继承了老师的学说，创立理念论来对抗原子论。柏拉图认为几何学表达了理念界的永恒的完美性，世界是有层次的，首先是可见世界与可知世界是两个不同层次，几何体——两种三角形是物质世界的真正组成要素。在柏拉图那里，理念也是一个等级系统，也就是从具体事物的理念，到数学和科学的理念，再到艺术和道德的理念，直至最高级的善的理念。柏拉图还对知识进行了分类，形成了关于知识的等级学说。他的知识等级如图所示。[1] 由上述可见，柏拉图的学说中也是具有丰富的系统思想的。

| 可　见　世　界 | | 可　知　世　界 | |
|---|---|---|---|
| 影像 | 实际事物 | 数学对象 | 理念 |
| ① 想象<br>(猜测) | ② 信念<br>(相信) | ③ 理智<br>(知性) | ④ 理性<br>(理解) |
| 意　见 | | 知　识 | |
| 第　一　部　分 | | 第　二　部　分 | |

亚里士多德(Aristoteles，前 384—前 322)是古希腊哲学的集大成者。他是古希腊最伟大的体系哲学家，在他看来："如果知识的对象不存在，就没有知识；这是真的，因为将会没有什么东西可

① 《欧洲哲学史教程》编写组. 欧洲哲学史教程. 福州：福建人民出版社，1983 年，70

以被认识。同样这也是真的：如果某物的知识不存在，此某物却很可以是存在着。”[1] 因此，在亚里士多德看来，理论的体系有其原型，理论体系反映着客观的体系。

亚里士多德设想了一个球层结构的多层次宇宙系统，比较完整地描述了天旋地静的宇宙图景。罗马时期托勒密正是以此为思想基础建立起来著名的本轮-均轮几何宇宙模型。他还把世界一分为二，即神圣的月上世界和低贱的月下尘世，月上世界由“精英”元素构成，月下尘世由水、火、土、气四种基本要素组成的，四种基本元素通过冷、热、干、湿四种基本原性的作用并因为质料因、形式因、动力因和目的因而结合成为实体。

与赫拉克利特不同，亚里士多德不是从承认事物自身的对立和统一来解释运动，而是从承认运动来承认对立，以承认运动为前提来为寻找运动的动力。于是，他最终不得不为世界寻求第一推动，把目的因看得高于一切，他写道：“四因都可以称为智慧的学术。至于其中最高尚最具权威的，应推极因与善因之学，极因与本善具有慧性”。[2] 而且，在亚里士多德看来，不仅人是有目的的，生命界是有目的的，而且无机自然界也是有目的的。他在《物理学》中写道：“自然就是目的或‘为了什么’。”[3] 他在该书中还写道：“技术摹仿自然”。一般认为，亚里士多德的目的论在以后科学的发展中起了不好的作用，而现代系统科学的发展，却又使得我们可以重新来审视曾经被当作似是而非的目的概念。

我们知道，亚里士多德在《物理学》中一开始就写道：“对我们说来明白易知的，起初是一些未经分析的整体事物。而元素和本原，是在从这些整体事物里把它们分析出来以后才为人们所认识

---

① 亚里士多德. 范畴篇·解释篇. 北京：生活·读书·新知三联书店，1957年，23

② 亚里士多德. 形而上学. 吴寿彭译，北京：商务印书馆，1983年，41

③ 亚里士多德. 张竹明译. 物理学. 北京：商务印书馆，1982年，48

的。因此，我们应该从具体的整体事物进到它的构成要素，因为为感觉所易知的是整体事物。这里把整体事物之所以说成是一个整体，是因为它内部有多样性，有它的许多构成部分。”[①] 从这里来看，一方面是他认识到整体是由部分组成的，另一方面似乎表明了他仅仅强调分析的一面。事实上，从对于后世的直接影响来看，亚里士多德对于后世影响最大的是物理学，而从当代科学思想的发展来看，他的曾经相对被忽视的生物学中值得注意的东西也很多。

亚里士多德对于整体与部分关系的思考，主要是从生物学入手的。亚里士多德写道：“构成动物的各个部分有些是单纯的，有些是复合的；单纯部分，例如肌肉，加以分割时，各部分相同仍还是肌肉；复合的构造，例如手被分割时，各部分就不成为手，颜面被分割时各部分就不成为颜面，被割裂的各部分互不相同。”“关于这些复合的部分，有些不仅称之为‘部分’，亦复称之为‘肢体’。凡由各个不同部分所构合，而可得成为一整体的，例如头、脚、手、臂、胸均为动物的肢体；这些都各成为一个整体，而各自包含有若干相异的分件。”[②] 亚里士多德已经察觉到整体与部分的矛盾，在他看来：整体“由若干部分组成，其总和并非只是一种堆集，而其整体有又不同于部分”。[③] 这就是说，整体具有整体性，整体不同于部分，整体性也不等于部分性质的简单加和。

亚里士多德关于整体和部分关系的思考，受到现代系统论思想家的高度赞赏，一般系统论的创立者贝塔朗菲就一再说，亚里士多德关于“整体大于部分和”的思想至今仍然正确，实际上这就是系统论的最基本思想。贝塔朗菲写道：“亚里士多德的世界观及其

---

① 亚里士多德．张竹明译．物理学．北京：商务印书馆，1982年，15

② 王太庆主编，孙鼎国、吴可编．西方自然哲学原著选辑(一)．北京：北京大学出版社，1988年，224

③ 北京大学哲学系外国哲学史教研室编译．古希腊罗马哲学．北京：生活·读书·新知三联书店，1957年，37

固有的整体论和目的论的观点就是这种宇宙秩序的一种表达方式。亚里士多德的论点'整体大于它的各部分的总和'是基本系统问题的一种表述，至今仍然正确……。基本的系统问题至今尚未过时"。①

## 2.2 近代科学与系统思想

近代自然科学是从欧洲兴起的。15 世纪资本主义开始萌芽，商品经济的发展和开拓市场的需要推动了远航探险和地理发现，进而推动了天文知识和地理知识、数学和力学的发展，于是伴随着思想和宗教领域的文艺复兴和宗教改革运动，在科学领域中产生了以天文学开始的科学革命。

1543 年哥白尼(N • Copernicus，1473—1543)发表《天体运行论》这部不朽著作，提出了日心说宇宙体系。经过伽利略(G. Galilei，1564—1642)、开普勒( J • Kepler，1571—1630)的进一步论证和发展，不仅实现了天文学上的革命，也引起了自然观、科学认识论和方法论上的革命。人们开始从对自然界的的笼统的、模糊的认识发展到对于自然界的进行深人的、细致的研究。

对于近代科学的兴起，英国的培根(F. Bacon，1561—1624)是有卓越贡献的。他的贡献主要不在科学成果上，而是为科学的复兴摇旗呐喊，大力提倡新的科学方法。有人认为，培根在科学中的作用类似于希腊军队中的跛足诗人梯泰厄斯的作用，梯泰厄斯不能打仗，但是他的战歌鼓舞了士兵们的斗志。培根第一个系统研究科学方法并将其当作追求知识的原则、追求知识的程序和方法，他的关于科学方法论的著作取名《新工具论》，以示其在科学方法论上的创新。按照培根的科学方法论，正确进行科学研究乃是从命题金字塔的底部一步一步上升到顶部，也就是：有条理地追求知识的

---

① 科学学译文集. 北京：科学出版社，1980 年，305—306

程序是以自然为对象，以感官知觉为起点，让心灵顺着一条全然循序递进的阶梯向前推进，即通过实验、列表、比较、排除、归纳而逐步上升到公理（形式）阶梯的顶部。[①]培根在他的《新工具论》里，还采用他的实验归纳程序，详细讨论了热的本质的问题。培根的方法主要强调归纳的一面，他试图将科学方法程序化也有其积极的意义。

笛卡儿（R·Descartes，1596—1650）是解析几何的创立者。他把自己的知识体系比喻作一颗大树，树根是“形而上学”、树干是“物理学”、树枝是各门具体科学，而他的唯理论的科学方法论则是贯穿整个科学体系中的认识工具。他在《哲学原理》中，阐述了“物理学”中的机械唯物主义，把自然界看作一个具有统一性的物质世界，其本质是广延性，上帝的第一次推动使得混沌状态的物质微粒形成了旋涡运动并通过排斥和吸引而组织起来。他试图以机械运动来说明自然界的一切事物，把整个自然界看作一架大机器，进而用来解释动物有机体，提出了“动物是机器”的影响深远的著名命题。

他在科学方法上的重要贡献在于，他是唯理论科学方法的创立者，又是将还原主义原理深深扎入科学之中的关键性人物。在笛卡儿看来，科学认识方法具有同一性，就决定了科学具有统一性。他说：“把单一的同一的方法不断运用于种种不同的学科，因为这种共同适用的可能性和实践性，意味着：整体的科学无非是人的理性本身的统一性”。[②]他以“我思故我在”的著名命题，规定了唯理论科学方法的出发点。他的“探求真理的指导原则之一”是：“全部方法，只不过是：为了发现某一真理而把心灵的目光应该观察的

---

① 约翰·洛西．邱仁宗、金吾伦等译．科学哲学历史导论．武汉：华中工学院出版社，1982年，66

② 笛卡尔．管震湖译．探求真理的指导原则．北京：商务印书馆，1991年，113页

那些事物安排为秩序。如欲严格遵守这一原则，那就必须把混乱暧昧的命题逐级简化为其他较单纯的命题，然后从直观一切命题中最单纯的那些出发，试行同样逐级上升到认识其他一切命题。"另一条原则是："要从错综复杂事物中区别出最简单事物，然后予以有秩序的研究，就必须在我们已经用它们互相直接演绎出某些真理的每一系列事物中，观察哪一个是最简单项，其余各项又是怎样同它的关系或远或近，或者同等距离的。"[①]

在《方法谈》中，笛卡儿给出的指导人们理智的四条原则，第一条包括避免"急躁与偏见"，只接受清晰和独特的思想；第三条要求从简单到复杂渐次前进；第四条要求进行无一遗漏的完整分析。其中被认为是统治了西方科学方法达350年之久的最为重要的原则是："第二条原则是把我正在考虑的难题分成尽可能多和必要的部分，以便把它最好地加以解决。"切克兰德(P. Checkland)在《系统论的思想与实践》一书中将其称为"标示了西方知识传统之特征的分析还原原理"[②]而且正是现代的系统论运动才真正对这一原理提出了挑战。事实上，还原论的观点，就奠定了追求简单性、追求线性解的思想基础。这就是说，因为总体总是可以分解为部分的，复杂的现象总是可以分解成为简单的现象来理解的，非线性系统就总是可以化简为线性问题来解决的。

现代耗散结构理论创立者普里戈金曾经写道，1686年4月28日是人类历史上最伟大的日子之一，牛顿在这一天向伦敦皇家学会提出了他的《自然哲学之数学原理》。牛顿总结了天体力学和地面力学的成就，为经典力学规定了一套基本概念，提出了运动三定律和万有引力定律，从而使经典力学成为一个完整的理论体系，实

---

① 笛卡尔. 管震湖译. 探求真理的指导原则. 北京：商务印书馆，1991年，21—23

② 切克兰德著. 左晓斯、史然译. 系统论的思想与实践. 北京：华夏出版社，1990年，58

现了自然科学的第一次大综合。《自然哲学的数学原理》中的第三编是“论宇宙体系”,万有引力就是在这里献给世人的。整个自然界借助万有引力联系起来,再加上运动三定律,物体的运动状态就成为可以推算的了,物理事件只不过是整个统一因果链上的一个个环节。整个自然界就被描述成为一个秩序井然的机械系统。伽利略、牛顿奠定的经典力学所描述的机械系统图景,与当时的时代文化产生了共鸣放大,就成为了当时的占据统治地位的自然观。由伽利略开创的实验和数学相结合的方法,到牛顿就完全确立和巩固起来。

与笛卡儿的机械世界图景一致,牛顿力学的经典力学为基础的自然界也是一架大型机械钟,这样的机械钟是需要从外面为其上紧发条,所以尽管牛顿在论证他的机械体系的运转时是不需要上帝的,但是他最终不得不把上帝请来作为这个机械系统的“第一推动”,为这架巨大的宇宙钟上紧发条。因此,近代科学开创者们所开创的机械系统,最终就不得不是某种被组织起来的系统;这个系统一经组织起来,就永远不变地运动下去。

18 世纪的法国科学家和唯物主义哲学家们,极大地推进了这个机械系统的自然观、机械确定论的规律观、还原论的科学方法论。在笛卡儿断言“动物是机器”的基础上,拉美特利(de La Mettrie,1709—1751)进而声称《人是机器》(1747)。经过法国的分析大师们的工作,诞生了理论力学,牛顿经典力学就有了新的精确的表达方式。拉普拉斯(P. -S. Laplace,1749—1827)设想的全能全知的妖精,被认为是最为明确、最为彻底地表述了机械决定论的理想。

在自然科学发展的初期,这样一幅机械的、分析的、线性的、被组织的世界图景的形成是有其历史必然性的。马克思主义的奠基人曾经深刻地分析过这样的必然性。恩格斯就曾指出,在近代科学初期,与那时自然科学才得到初步发展相适应,主要是运用分析方

法、认识既成事物，已获得的科学知识还不足以揭示自然现象之间的联系、发展和变化。在这样的时代科学的基础上，形成了自己时代的总观点，正如恩格斯所指出的："那时在所有自然科学中达到某种完善地步的只有力学，而且只有刚体(天空的和地上的)力学，简言之，即重量的力学。化学刚刚处于幼稚的燃素说的形态中。生物学尚在襁褓中；对植物和动物机体只作过极肤浅的研究，并用纯粹机械的原因来加以解释"；[①]"这个时代的特征是一个特殊的总观点的形成，这个总观点的中心是**自然界绝对不变**这样一个见解。"[②] 按照这样的时代科学提供的见解，天地及其间的万物固定不变，一切自然现象都是互不联系、各自孤立的东西，它们只能是在空间中彼此无关地无组织地并列着，复杂性只是表面的而非实质的，而且它们也没有时间上的发展变化的历史，仅仅是存在着的而非演化着东西。只有通过自然科学的进一步的发展进步，我们才可能通过对于这种机械的、分析的、线性的、被组织的世界图景的再一次否定，走向一幅有机的、综合的、非线性的、自组织的系统世界图景。

## 2.3 莱布尼茨和狄德罗的系统思想

莱布尼茨(G·W·Leibniz，1646—1716)一生建树很多，罗素在《西方哲学史》下卷关于莱布尼茨的论述中称他是"千古绝伦的大智者"。他在哲学、逻辑、数学、物理学等领域都有杰出的贡献。

莱布尼茨的客观唯心主义哲学思想的核心是披着神学外衣的"单子论"。单子也就是一种原子，是自然系统的最基本组成要素。《单子论》的第1条就是"我们这里要说的单子不是别的，只是一种

---

① 马克思、恩格斯选集第四卷．北京：人民出版社，1971年，224

② 恩格斯．自然辩证法．北京：人民出版社，1971年，10

组成复合物的单纯实体;**单纯**,就是没有部分的意思。"[1] 他在这里针对了17世纪机械唯物主义的物质惰性论和广延唯一特性论。他指出,实体是不能光就它的没有任何能动性的赤裸裸的本质去设想的,能动性是一般实体的本质,如果物质是惰性的和不动的,它就不可能成为构成宇宙万物的实体。

单子具有能动性,单子的能动性并非赤裸裸的能动性,单子还具有被动性的一面,能动性与被动性是相互制约的。第49条写道:"说单子具有**能动性**,是就它具有清晰的知觉而言;说它具有**被动性**,是就它具有混乱的知觉而言。"第52条说:"在创造物之间,能动与被动是相互的。因为上帝比较两个单纯实体,发现每一个中间都有使它适应于另一个的理由,因此就某个方面说是能动的,从另一个观点来说则是被动的。说它**能动**,是由于我们清楚知道其中有一种成分,可以说明另一个中间所发生的事情;说它**被动**,是由于其中所发生的事情的因由在另一个我们清楚地知道的成分中。"

在莱布尼茨看来,单子与复合物具有相互依存性,仅仅只谈一个方面是不可能的。《单子论》的第2条就是:"既然有复合物,就一定有单纯的实体;因为复合物无非是一群或一堆单纯的东西。"这里就接触到,部分与整体,只能相互定义。

按照莱布尼茨的论述,单子是具有层次性的。每个单子都有知觉,按明暗程度的不同可以分为不同四个等级,最低级的单子,如无机物体,只有"微知觉";较高一级的单子,如动物,具有较清晰的知觉和记忆;更高一级的单子是人,具有理性的灵魂,能运用概念进行判断、推理,认识具有必然性的真理;最高级的单子是上帝,具有最高的智慧,是一切真理的源泉。他在表述单子的知觉由低级向高级的连续性时,也就肯定了等级层次的连续发展。事实上,莱布

[1] 王太庆主编.孙鼎国、吴可编.西方自然哲学原著选辑(三).北京:北京大学出版社,1993年,199

尼茨是比较注意层次性问题的，在《人类理智新论》的"第四卷论知识"中就有两节是专门讨论知识的等级的，这就是"第二章论我们的知识的等级"，"第十六章论同意的各种等级"。但是值得指出的是，莱布尼茨只看到发展的连续性和量变，否认间断和质变，因而又断言"自然从来不飞跃"。

莱布尼茨还认为，单子是可以变化的，变化的根据在于单子的本身，但他却把内部原因与外部原因截然割裂开来。他在《单子论》第10条写道："一切创造出来的东西都有变化，因此创造出来的单子也是这样，而且这种变化在每个单子里都是连续的。"接着又在第11条写道："单子的自然变化是来自一个内在的**本原**，因为一个外在的原因不可能影响到单子内部。"既然内因与外因是割裂的，就只有借助上帝造物时规定好的"前定和谐"来规定单子之间的统一性，从而得以保证宇宙之中的和谐和秩序，就如一位钟表匠把两个钟表制造得完全准确一般，两个钟相互无制约，但可以步调一致。单子之间没有联系，实际上就意味着单子只有结构，没有功能，整体也没有功能可言，如17条所说："应当在单纯的实体中，而不应当在复合物或机器中去寻找知觉。"这也是由"前定和谐"来加以解释，功能就只是一种表象。

《单子论》还讨论了动力因和目的因问题。第36条就说："有无数个现在和过去的形相和运动，构成了我现在写字的动力因，也有无数个现在和过去我的心灵的倾向和禀赋，构成了目的因。"机体由单子组成，其中的高级的单子即灵魂单子决定了机体的活动的目的。于是，就机体而言，能动性的单子决定了机体自己的目的，但是，这一切又都是合乎于"前定和谐"的，是由"前定和谐"规定了的。

莱布尼茨主张一切单子反映宇宙，第56条说："这种一切事物对每一事物的联系或适应，以及每一事物对一切事物的联系或适应，使每一个单纯实体具有表现其他一切事物的关系，并且使它因

而成为宇宙的一面永恒的活的镜子。"他这里猜测到部分与整体、个别与一般的联系，但夸大成部分就是整体、个别就是一般，所以他非常赞成古希腊医生希波拉底的"万物一致"的见解。事物具有差异，这是事实，但差异不在于单子之间的联系方式的不同，而在于单子具有众多性，而且两两不同。

从单子论出发，莱布尼茨反对简单地把有机体与机械等同起来的时代思潮。他认为："每个生物的有机形体乃是一种神圣的机器，或一个自然的自动机，无限地优越于一切人造的自动机。因为一架由人的技艺制造出来的机器，它的每一个部分并不是一架机器，例如一个黄铜轮子的齿有一些部分或片断，这些部分或片断对我们说来，已不再是人造的东西，并没有表现出来它是一架机器，像铜轮子那样有特定的用途。可是自然的机器亦即活的形体则不然，它们的无穷小的部分也还是机器。就是这一点造成了自然与技艺之间的区别，亦即神的技艺与我们的技艺之间的区别。"（第 64 条）

总之，比起他的同时代人来，莱布尼茨的单子论中机械论与有机论、个体论与整体论错综复杂地交织在一起，其中具有较多的系统思想和辩证思维，某些方面也达到了深刻的有机论和辩证法。所以，莱布尼茨受到了马克思主义经典作家的高度重视和高度评价。

现代系统理论的奠基者们也高度重视莱布尼茨，其中还包括对于他的数学和逻辑思想的重视。例如，贝塔朗菲就在《一般系统论：基础、发展和应用》一书中，把他作为系统思想史上的重要人物之一。

贝塔朗菲在"一般系统论的历史和现状"一文中写道："莱布尼茨的单子等级看来与现代系统等级很相似，他的万能数学乃是未来的扩大数学范围的先声，数学不再受到数或量去表达的限制，它

能把各种概念思维形式化。”[①]

维纳则写道："假如我必须为控制论从科学史上挑选一位守护神，那就挑选莱布尼茨。莱布尼茨的哲学集中表现在两个密切联系着的概念上——普遍符号论的概念和推理演算的概念。”[②]

普里戈金这样来评价莱布尼茨的思想，因为可积系统的基本特点是其可以通过某种变换而以非相互作用的实体来描述，这些实体可以通过运动来改变自己的初始状态，而且又与其他实体共存于秩序井然的体系之中，“因此，所有可积系统都可以看成是‘单子’系统。反之，莱布尼茨的单子论也可以翻译成动力学语言，就是：宇宙是一个可积系统。这样，所谓单子论就成了对一个去掉了演化宇宙的最重要的表述。”[③] 这就是说，莱布尼茨的单子论实际上构成了近代自然科学追求可积系统即追求线性律的思想基础。

狄德罗(D·Diderot，1713—1784)是18世纪法国“百科全书”派的首领，18世纪法国机械唯物主义杰出代表。在18世纪法国机械唯物主义者中，他的哲学思想中具有较多的有机论和辩证法因素。

伽利略抛弃了活力论特别是亚里士多德的目的因问题，把力学规定为仅仅探索运动怎样发生，而不问运动为何发生，从而奠定了经典科学的传统，促进了经典科学的进步。不过，生命问题最终是无法避免的，狄德罗就常常强调这个问题被时代的科学忽视了。

在狄德罗看来，物质内在地具有感受性，运动是物质的固有属性，总之，物质是“活性物质”而非惰性的。他写道：“**物体，依某些哲学家说，就其本性而言，是没有活动也没有力的**；这是一个可怕的

---

① 庞元正、李建华编.系统论、控制论、信息论经典文献选编.北京：求实出版社，1989年，134

② 维纳著.郝季仁译.控制论.北京：科学出版社，1985年，12

③ 普里戈金、斯唐热著.曾庆宏、沈小峰译.从混沌到有序.上海：上海译文出版社，1987年，360

错误，完全违反全部正确的物理学，全部正确的化学：物体就其本身说来，就其固有性质的本性说来，不管就它的分子看，还是就它的整体看，都是充满活动和力的。”①

他借达朗贝的梦来涉及部分组成整体，要素形成组织以及组织的发展问题。他写道，活点子“连续不断地粘下去，便得出一个整体的东西来，……。一个完整的系统，它对于它的完整性是有意识的！”他还写道：“这块东西是怎样过渡到另一种组织，过渡到感受性，过渡到生命的呢？依靠温度。什么东西会产生温度呢？运动。”运动的结果就造成组织的发育、分化和生长。②

## 2.4 德国古典哲学中的系统思想

德国古典哲学，是 18 世纪末 19 世纪初德国新兴资产阶级的哲学，包括从康德到黑格尔的古典唯心主义和费尔巴哈的人本学唯物主义。德国古典哲学集两千多年欧洲哲学发展之大成，其中的优秀成果为马克思和恩格斯批判继承，成为马克思主义哲学观点的直接的理论来源。我们这里扼要考察一下康德和黑格尔的系统思想。

康德（I·Kant，1724—1804）既是哲学家也是自然科学家，在哲学上，他是德国古典哲学的开创者；在自然科学上，他以提出太阳系起源的星云假说而著名。

星云假说是康德在前期即所谓的“前批判时期”中研究自然科学问题的产物。康德认为，在遥远的过去，在宇宙太空里充满了极其稀薄的、分散的、不停运动着的物质微粒或质点。其中密度较大的地方吸引较大，周围空间的微粒在吸引作用下会向这个中心聚

---

① 北京大学哲学系外国哲学史教研室编译.《西方哲学原著选读》下卷.北京：商务印书馆，1984 年，128

② 普里戈金、斯唐热著.曾庆宏、沈小峰译.从混沌到有序.上海：上海译文出版社，1987 年，380

集。于是，在引力作用下，密度大的微粒把它周围密度小的微粒聚集起来。这样继续下去，就会在原始物质的引力中心，逐渐形成某个巨大的中心天体，太阳就是这样形成的。在太阳系形成过程中，除了引力作用以外，还有一种斥力起作用。由于斥力作用，并非所有微粒都奔向太阳中心，再加之离心力的作用，就形成了一个围绕太阳中心的圆周运动，进而形成圆盘状的结构，最终形成了行星系统。相仿地，行星的卫星系统也是这样形成的。

在提出星云假说的《宇宙发展史概论》中，康德这样写道："我假定整个宇宙的物质都处于普遍的分散状态，并由此造成了一种完全的混沌。我根据给定的吸引定律看到了物体的形成，又看到了斥力改变物体的运动。我不需要任何虚构，只要按照给定的运动定律，就可以看到一个秩序井然的整个系统产生出来，这使我感到欣然满足；这系统与我们眼前所看到的那个宇宙系统如此相似，以至我不得不把它们当作同一个东西。在大范围内自然秩序的这种出乎意料的发展……建立在如此简单而纯朴的基础之上。"①

他还推测整个宇宙是一个大系统，具有不同的层次。他写道："难道所有的世界就不会同样有相应的结构和有规则的相互联系，正像我们太阳系这个小范围内的天体，如土星、木星和地球都各自成为特定的系统，但同时又作为一个较大系统的成员而相互联系着呢？……观测证明，这个推测几乎是无可怀疑的。星群由于其位置都联系于一个共同的平面而构成一个系统，正如我们太阳系的各个行星都环绕太阳而构成一个系统一样。……银河里的每一个太阳同围绕它们而运转的行星一起，构成一个特定的系统；但是这并不妨碍它们成为一个更大的系统的一部分"。这就构成星系，"如果再把这些星系看作是整个自然界这根大链条上的各个环节，那

---

① 王太庆主编，孙鼎国、吴可编．西方自然哲学原著选辑(三)．北京：北京大学出版社，1993年，507

么，我们和以前一样多的理由可以认为，这些星系是相互有关的，并且按照支配整个自然界的初始形成的规律，相互联结而构成一个新的更大的系统。”“我们前面所考虑过的关于世界各个部分的有规则的联系，是否将延伸到全体，并通过吸引力和离心力的结合而把整个宇宙这个大自然的一切都包括在单独一个系统之内呢？我说是的。”[①]

康德的宇宙观，已经可以称之为一种系统自组织演化的宇宙，包含着一切继续进步的起点。在我们看来，康德之所以能取得划时代的重要突破，正是自觉不自觉运用系统思维的结果。

在认识论领域，康德也接触到知识的系统性问题。他把知识理解为一种有秩序、有层次、由要素组成的统一整体。在《纯粹理性批判》中，他说："直观与概念构成我们一切知识的要素"；"知识是相互关系、相互联系要素的整体"。他认为思维的唯一功能就是把概念联系起来。知性运用概念的方法就是作出判断，对判断进行分类就是全面的理解，因此分类就意味着进入体系，范畴就是知识体系的分类。[②]

黑格尔(F·Hegel，1770—1831)是近代唯心辩证法大师，他在阐明和运用辩证法原理时，亦迸发出他的系统思想，表达了系统观点。一般系统论的创立者贝塔朗菲就把他作为重要的系统思想先驱之一，普里戈金也指出黑格尔的哲学实际上对于系统自组织的思想给出了和谐的响应。黑格尔的系统思想，突出地表现为：

1. 他指出了把真理和科学作为有机的科学系统加以考察的重要性，指出系统与要素的内在联系的历史性和层次性。他说："真理的要素是概念，真理的真实形态是科学系统"。"科学只有借

---

① 王太庆主编．孙鼎国、吴可编．西方自然哲学原著选辑(三)，北京：北京大学出版社，1993年，520—523

② 北京大学哲学系外国哲学史教研室编译．十八世纪末— 十九世纪初德国哲学．北京：商务印书馆，1960年，1—37

助于概念自己的生命才能成为有机系统”。“知识只有作为科学或者作为系统，才是现实的，才能够表达出来”，“真理只有作为系统才是现实的”。[1] 在黑格尔看来，范畴是在历史过程中逐渐抽象到具体，由低级到高级发展起来的。每一个发展阶段就是一个独特的自然领域，并且成为一个系统。每一个系统的完整程度可以由它所反映整个宇宙的程度来衡量。分析高级系统对低级系统有重大意义，而不能把高级系统归结为低级系统。

2. 他称“绝对概念”为系统，把这种系统理解为一个“过程的集合体”。他认为一切存在都是有机的整体：“作为自身具体、自身发展的理念，乃是一个有机的系统、一个全体，包含有很多阶段和环节在它自身内。”[2] 这种把一切事物看作有机系统，由于内部各部分、各种力量的矛盾斗争推动自身向更完善更高级的方向发展的观点是正确的。但他是用概念的系统发展颠倒地反映出客观世界现实系统的发展过程。马克思称之为“抽象形态的运动”。恩格斯在《反杜林论》中写道：“黑格尔第一次——这是他的巨大功绩——把整个自然的、历史的和精神的世界描写为一个过程，即把它描写为处在不断的运动、变化、转变和发展中，并企图揭示这种运动和发展的内在联系。”[3] 这样的一个伟大的基本思想，即认为世界不是一成不变的事物的集合体，而是过程的集合体的思想，与现代系统论中的“历时态系统”很相近。

3. 他运用系统方法构造出完整的哲学体系。黑格尔不是简单地列举哲学范畴，而是力图解释它们之间的内在联系，从一个推出另一个，把它们放在系统中加以考虑，这就是他的庞大的客观唯

---

① 北京大学哲学系外国哲学史教研室编译. 十八世纪末一十九世纪初德国哲学. 北京：商务印书馆，1960 年，197—281

② 黑格尔. 贺麟、王太庆译. 哲学史讲演录第一卷. 北京：商务印书馆，1959 年新 1 版，32

③ 马克思恩格斯选集第三卷. 北京：人民出版社，1972 年，63

心主义哲学体系，他用“逻辑学”、“自然哲学”、“精神哲学”三部分，一环扣一环地系统地描述了绝对精神的辩证发展过程。“逻辑学”阐述绝对精神的发展。绝对精神是最原初的存在，在自身的发展中经过三个阶段，由“有”或“存在”阶段进入“本质”阶段，再进入“概念”阶段，这同时又是一个由抽象到具体的过程。概念的自我否定转化为自然，“逻辑学”就过渡到“自然哲学”。而这里则从力学发展到物理学，再发展到有机物理学。最后，理念通过自然再回到精神，这就回到“精神哲学”。精神是由主观精神发展到客观精神，最后发展到绝对精神。于是，他的哲学体系就形成了一个大圆圈。

4. 黑格尔实际上已经讨论了许多基本的系统概念即范畴。例如，他在《逻辑学》的“本质论”中，把整体与部分的关系看作直接本质的关系，讨论了部分和整体的辩证法。又例如，他在《自然哲学》中，他以进化和射流的辩证法来把握自然界的阶段发展。这里特别要指出的是他在《逻辑学》的第二部分阐述了“对立统一”即矛盾范畴，论述了矛盾的普遍性，把矛盾看作一切事物所固有的，并把矛盾与运动联系起来，作为事物发展的源泉和动力。这实际上也是现代系统论高度重视的基本系统观点，贝塔朗菲就这样写道：“部分之间的竞争，是简单的物理—化学系统以及生命系统中的一般组织原理，归根结底，是实在所呈现的**对立物的一致**这个命题的一种表述形式。”①

总之，黑格尔实际上丰富和发展了系统思想，自觉不自觉地进行着系统思维，但由于他的客观唯心主义立场和思辨的传统，使系统思想包含在隐晦的哲学体系中，成为一种神秘的东西。

① 贝塔朗菲．林康义、魏宏森等译．一般系统论．北京：清华大学出版社，1987年，61

## 2.5 近代工业技术中的控制装置和逻辑机

根据现有的史料来看，早在人类文明初期，我们的先人就已经发明和使用了一些简陋的自动装置。例如，在中国，很早就已发明了自动计时的"铜壶滴漏"，在公元前2000多年西汉时期就有了指南车、记里鼓车；稍后东汉时期，著名科学家张衡(78—139)发明了一种采用齿轮系统的天文计时器，他还发明了"浑天仪"；距今近千年的北宋时期问世了著名的水运仪象台，距今600多年前又出现了与近代钟表相似的计时器。在西方，同样也有过许多简陋的自动装置。据记载，公元前2世纪，古埃及亚历山大城的赫伦发明过用于祭酒的自动装置；他还记载描述过古希腊的戏院中有过一种机械的自动装置，这种装置可以设置舞台布景，开关戏院的门户，还可以摹仿人的某些动作。古罗马人的家庭中安装过一种水管系统，与现在卫生间里的普通的水箱和水位控制系统的基本原理相同，都是按照偏差进行补偿的反馈控制系统。

进入近代以来，随着手工工艺的进步，西方国家中出现了许多更为精制的自动控制装置。据说，文艺复兴时期的达·芬奇(L. da Vinci，1452—1519)为路易十二制造过供其玩赏的机器狮。18世纪，J·沃康松制造过能演奏20个左右简单曲子的吹长笛的"机械人"，他还制造过机械鸭。稍后，瑞士的钟表匠德罗父子一起制造过机械画图人、会写字的男孩和钢琴手。

在这一时期，最有代表性的自动装置就是钟表和磨。马克思在1863年1月28日给恩格斯的信中这样写道："从16世纪到18世纪中叶，即工场手工业从手工业一直发展到真正的大工业的时期，在工场手工业内部为机器工业作好准备的有两种物质基础，即钟表和磨。……钟表是第一个应用于实际目的的自动机器"。[1] 磨是

---

① 马克思恩格斯书信选集. 北京：人民出版社，145

一种古老的机械装置，它早已见之于世界各国。到资本主义社会兴起的初期，它的动力一般已经由人力手推改进为风力或水力推动。动力的改进带来了如何控制磨制的粮食的流量以保持磨面的质量问题。这样一来，就促进了在16世纪甚至更早就出现了装在磨上的自动控制流量的装置。军事工程师拉梅里(Ramelly)在1588年出版的著作中就曾记录了一种能够使磨盘转速保持恒定的装置——震动器。震动器工作原理是当磨盘转动时，其结合棱也转得快，送进磨口的谷粒增多，相应地负荷、摩擦力加大，磨的转速于是减慢；当谷物的硬度较大时，摩擦力也较大，磨的转速也会相应减慢。一旦磨的转速减慢，送进磨口的谷物则会减少，相应地负荷减轻、摩擦力减小，于是磨的转速就会加快。这样一来，就形成了一种循环往复的自动调节，使磨的转速在一定范围内比较稳定，从而保持了所磨制的面的质量。

近代工业革命，大大促进了生产工具的改进与变革，自动控制装置也取得了相应的进步。

英国人瓦特(J. Watt，1736—1819)在1787年发明的安装在蒸汽机上的离心式调节器，是近代科学技术史上一种具有重大意义的比较典型的自动装置。在此之前，瓦特已经在18世纪60年代对于蒸汽机进行了根本性变革，使得蒸汽机的热效率由不到1%提高到3%。以后瓦特继续进行蒸汽机的改进工作，又取得了一些重要的成果，其中之一就是上述的离心式调节器。在蒸汽机发展的初期，蒸汽的进气和出气都是用手工操作和控制，劳动强度大，效率低，也难以保持蒸汽机运转的稳定性。瓦特的发明解决了这样问题，使得蒸汽机可以在一定范围内尽管负荷有所变动但运转得以保持相对稳定。这种机器利用的是离心力作用原理，当负荷增加时，转速减慢，离心式机构的角速度也就减小，摆锤下降，而通过调节机构抬高供汽管上的闸板，使得进气增加，蒸汽机转速相应加快。这实际上是一种具有反馈的闭环自动系统。

其后，人们又研制成了其他类型的调速器。正是在这样一些实践的基础上，麦克思韦(J·C·Maxwell，1831—1879)于19世纪中叶发表了一篇关于调速器的论文，总结出来一些关于调节器的理论，对于反馈进行了理论论述，并从数学角度进行了探讨。麦克思韦的论文，在控制论发展史上是一篇具有重要意义的论文。维纳写道：控制论之所以选用Cybernetics这个字，"我们是想用它来纪念关于反馈机制的第一篇重要论文，这就是麦克斯威尔(即麦克思韦——引者)在1868年发表的一篇关于调速器的文章"。[①]

17世纪笛卡儿在《论人类》一书中已经提出：低等动物和人类就其许多机能来说与自动机相似。他根据大脑与水钟等当时各种机械设备的若干相似之点，提出了神经元是通过微小的机械运动传送信息的。18世纪法国唯物主义者拉梅特利进一步提出了人是机器的命题。这实际上是正如前面已经提及的人工机械装置制造在思想领域中的反映。而且，人们实际上并不仅仅停留在从机体上模仿人的尝试，而且试图从思维上来模仿人，这就提出了研制模仿人的思维进行逻辑推理和计算的机器。据记载，12世纪末13世纪初，西班牙的神学家和逻辑学家罗门·卢乐就设想过能够解决各种问题的逻辑机。他的逻辑机是一个能动的同心圆系统，整个结构很像一个儿童玩的大角锥体。他设想通过逻辑机从某些判断得出形式上的结论，而且可以通过概念上的形式组合揭示出新的真理。他的设想没有取得成功，但是他的"旋转玩具"却引起了人们对于制造能够进行思维计算机器的探索。

1642年，法国哲学家兼数学家巴斯卡(B·Pascal，1623—1662)发明了第一台机械传动式计算机。他巧妙地把齿轮转动与数字显示结合起来，这种机械曾经在法国税收中大显身手。他还认

---

① 庞元正、李建华编. 系统论、控制论、信息论经典文献选编. 北京：求实出版社，1989年，11

为，比起动物的行为，这种机器所进行的工作更接近人类。1671年，德国哲学家、数学家莱布尼茨侨居巴黎之际设计了更为巧妙的步进计算器，它除了可以进行加减计算以外，还具有乘除和开方的功能。在罗门·卢乐的思想的影响下，莱布尼茨还提出逻辑机的设计思想，他设想通过“万能符号”体系，对于对象的特征进行“推理计算”。到 19 世纪上半叶，英国剑桥大学教授巴贝奇(C·Babbage，1792—1871)于 1822 年提出“差分机”，1833 年提出“分析机”，表现出超时代的设计思想。差分机包含了程序设计的萌芽，分析机展示了现代计算机的几乎所有核心部件和主要设计思想。由于时代技术加工水平的限制，难以提供分析机所需的高精度零件，再加上那个时代没有对这种机器的迫切需要，英国政府停止了对他的财政资助，致使他倾家荡产也没有研制成功。巴贝奇的全部设计都被锁进了博物馆，后来的发明家不得不重新艰难地探索一遍。他的理想直至 20 世纪 40 年代才得以真正实现，由于电磁继电器的成功应用以及精密机械制造业的发展，1941 年德国工程师朱斯(K·Zuse，1910 —)制成了世界第一台全部采用电磁继电器和二进制程序控制的通用自动电式计算机——Z-3 型机。由于战争保密，朱斯的工作不为人们知晓。到 1944 年，美国哈佛大学教授艾肯(H·Alken，1900—1973)在 IBM 公司支持下研制成功部分采用继电器的机械计算机——“自动程序控制计算机”，即“哈佛MARK-1 号机，才真正对于后来电子计算机产生了重要影响。

现在的社会不是坚实的结晶体，而是一个能够变化并经常处于变化过程的机体。

马克思 《政治经济学·导言》

世界不是一成不变的事物的集合体，而是过程的集合体。

恩格斯 《路德维希·费尔巴哈和德国古典哲学的终结》

# 3 马克思主义奠基人的系统思想

19世纪中叶马克思主义的诞生标志着人类认识史上的一次伟大的革命变革。马克思主义的诞生，是人类认识发展、科学技术发展、社会经济和政治发展到一定阶段的必然的产物。从系统思想发展的角度来看，正是这样的一些发展，揭示客观世界的普遍联系，揭示了客观世界的系统性。系统概念、系统思想，在马克思主义的奠基人那里，取得了哲学的表达形式，系统观成为马克思主义世界观的内在组成部分。

## 3.1 马克思主义诞生的时代科学背景

近代自然科学发展初期，自然科学赖以把整体分解为部分、把运动凝固为静止而取得进步。而近代工业的发展，却展现了另外一番态势。近代工业技术自从兴起之日起，就是赖以把家庭手工业转变为工场手工业、进而把工场手工业转变为以机器为主体的工厂制度而取得进步的，其结果是导致了18世纪60年代开始的产业革命。

产业革命首先发生于英国，到19世纪三四十年代，英国的产

业革命基本完成;50 年代末,美国的产业革命也基本完成;接着,法国的产业革命又在 60 年代末基本完成。这时,德国、俄国以至日本也都正处于产业革命之中。产业革命是技术的根本变革,引起了生产关系的重大变革。由于蒸汽动力机和新的工作机的使用,把工厂手工业作坊转变为机器大工业工厂,使得人类劳动组织形式发生了重大的改变,在此之后才有了真正意义上的社会化的大生产。而且,社会化的大生产,又推动了运输工具的改革和发明、发展,新的运输工具则推动了世界市场的联系,推动了各国各地区物质、能量和信息的交换,进一步使得不同的地域联成一体。

产业革命也使得科学与技术的相互依赖变得明显起来,它直接推动了自然科学的发展。以机器为基础的大工业的生产,只有持续不断地革新技术,才能使资本家保持竞争能力,而这就不能单纯地依靠熟练劳动,必须更多地依赖于科学的应用。为了满足对于动力的日益增长的需要,提高蒸汽机的效率成为科学研究的重要课题,推动了对于能量守恒与转化的认识。纺织业和农业中对于染料和化肥的需要,促进了化学的发展。资本主义农业化过程相应地带动了农学和生物学的发展。采矿和交通业的发展为古生物学和地质学积累了大量的材料并推动了后者的发展。生产的发展还为科学研究提供了新的实验工具。总之,产业革命的结果是技术需要科学,科学要为技术服务,技术又可以武装科学,产业革命从根本上推动了科学与技术之间的相互作用和相互依赖。正如马克思指出的:"只有资本主义生产方式才第一次使自然科学为直接的生产过程服务,同时,生产的发展反过来又为从理论上征服自然提供了手段。"[1]

工业技术与科学研究的结合,也体现在企业开始插手和支持科学研究。在 18 世纪中叶以前,科学技术基本上是个别学者、个别

---

① 马克思.机器·自然力和科学的应用.北京:人民出版社,1978 年.206

工匠的分散活动，特别是缺乏促进科学与技术合作的学会和组织。在工业革命的推动下，在资本主义国家中出现了由企业赞助的科学技术团体，其中最早一个是1766年在英国伯明翰成立的太阴学会。1781年，在英国的曼彻斯特也建立了由工业家和科学家组成的地方性科学团体。1831年全国性的英国科学促进会成立，它对于随后英国科学的发展产生了重要影响。而在美国，科学活动和科学组织更具有受到官方关注的特点。18世纪末19世纪初，美国总统杰弗逊认为国家少不了科学，并且亲自担任包括农艺、医学、天文等学科在内的美国哲学学会会长。法国革命后，很快就成立了完全由国家支持的科学机关。

19世纪的自然科学，进入一个全面发展的时期。除了力学以外，物理学、化学、生物学、地质学相继建立起来。自然科学由分门别类收集材料的阶段，进入了对于经验材料进行综合整理和理论概括的阶段。正如恩格斯在《路德维希·费尔巴哈和德国古典哲学的终结》中所说："事实上，直至上个世纪末，自然科学主要是搜集材料的科学，关于既成事物的科学，但是在本世纪，自然科学本质上是整理材料的科学，关于过程、关于这些事物的发生和发展以及关于把这些自然过程结合为一个伟大整体的联系的科学。"①

这些科学成就包括：

在天文学中，康德-拉普拉斯星云假说最先在片面强调分析、把相对静止绝对化的形而上学自然观上打开了缺口。他们的假说在19世纪开始真正受到重视，这个假说中指出太阳系是一个自发运动、自我组织的动态系统，天体系统具有历史的观点、自发运动的观点、自我组织的观点，就进入了自然科学中，被动的被组织的宇宙观不得不开始让位给自发运动的自发组织的宇宙观。它在自然科学中的启发意义是重大的，如恩格斯所指出："在康德的的发

① 马克思恩格斯选集第四卷．北京：人民出版社，1972年，241

现中包含着一切继续前进的起点”。[①]

在地质学中，赖尔(C. Lyell，1797—1875)提出的地质“渐变论”奠定了地质系统变化和发展的思想基础，它实际上也是康德-拉普拉斯演化思想在地质学中的响应。赖尔在1830—1833年间发表的《地质学原理》标志近代地质学体系化，该书的副标题是“以现在还在起作用的原因解释地球表面上以前的变化”。

在物理学中，能量守恒与转化定律的发现，系统的能量可以耗散、可以从一个系统转移到环境或另一个系统，但不可能创造也不可能消灭，从而有力地证明多种多样物质运动之中的统一性，最终必然得出自然界的物质统一性的结论，正如恩格斯指出的：“这种结果必然指出运动着的物质的永远循环是最终结论。”[②]而且，由于热力学——一门关于能量守恒与转化规律的科学的发展，使得“系统”这一概念第一次获得了科学的定义，并进而引出了许多今天正在使用的重要物理概念。热力学第一定律就是能量守恒与转化定律，热力学第二定律就是后来对于种种系统理论的建立具有重要推动作用、至今仍然引起热烈争论的熵定律。

在化学中，特别是有机化学的发展，以维勒(F. Wöhler，1800—1882)首次从无机物中用人工合成的方法制成了有机物尿素为标志，就有力地批判了活力论，打破了有机物与无机物之间的截然两分的界限，成为进一步发现有机界与无机界两者之间的统一性的新起点。我们知道，稍后俄国化学家门捷列夫(Д·И·Менделеев，1834—1907)于1869年发现了元素周期律，揭示了原来认为是彼此孤立、互不相关的化学元素之间的内在联系，表明各种元素形成了一个具有内在规律的完整体系。

在生物学中，细胞学说和达尔文进化论的建立具有特别重要的意义，它们使得机械论的片面观点越来越站不住脚了，使得形而

①、② 恩格斯.自然辩证法.北京：人民出版社，1971年，12，14

上学的自然观变得千疮百孔。细胞学说表明，动物和植物具有共同的基本组成要素，其构成原则实质上是没有两样的，整个有机界具有内在统一性。达尔文(C・R・Darwin，1809—1882)在1859年发表了划时代的巨著《物种起源》，使生物进化论获得了重大进展。达尔文进化论表明，物竞天择、适者生存是生物界发生和发展的根本动力，由此造成了生物界由低级向高级的进化。达尔文进化论使得生物学奠基在科学的基础之上，第一次对于生物界的发生和发展作出了科学的解释，使得生物学各门理论综合成为一个整体，形成了一门统一的科学。马克思主义的奠基人高度地评价了达尔文的重大发现，把它作为自己的最基本的自然科学基础之一，恩格斯在安葬马克思墓前发表的讲话中，更把马克思发现人类历史的发展规律与达尔文发现有机界的发展规律相提并论。事实上，达尔文进化论对于今日的种种系统理论的建立和发展，也起到了极为重要的作用，至今仍然具有重要的现实意义。

社会科学也在这个时代有了长足的进步。

在经济学领域，英国资产阶级在反对封建主义的斗争中，为了适应资本主义发展的需要，以其独特的内容和形式，建立古典政治经济学。斯图亚特(J. Steuart，1712—1780)第一个从整体上探讨了资产阶级经济学体系，他以政治经济学的教程的形式，系统地叙述了重商主义的观点。斯密(A. Smith，1723—1790)是古典政治经济学的杰出代表，他建立了古典政治经济学的理论体系，倡导自由经济，反对重商主义，要求自由地发展资本主义。李嘉图(D. Ricardo，1772—1823)在19世纪初完成了英国古典政治经济学。他宣扬只有经济自由的资本主义制度最有利于生产的发展，坚持了和发展了劳动价值论，并由此分析了资本主义社会阶级对立关系在分配领域的经济表现。

19世纪初出现了法国的空想社会主义，圣西门(H. Saint-Simon，1760—1825)、傅立叶(C. Fourier，1772—1837)、欧文(R.

Owen,1771—1858)等人以“人类天性”等道德尺度衡量历史,批判资本主义、论证社会主义,认为资本主义不符合人类天性,只有社会主义才符合人类天性。他们看到了经济状况是政治制度的基础,论证环境对于人的性格和智慧产生影响,设想了废除雇佣劳动、消灭阶级对立和三大差别,重建一种理想的社会大同系统。圣西门还认为,社会科学和自然科学一样,应是一门严格的科学,都可以建立在“万有引力”规律的基础之上;他认为人类历史是一个有阶段的合乎规律的发展过程,他还以此为基础,对于人类社会的分期进行了说明。傅立叶认为“万有引力”是自然规律,他试图揭示出社会发展的特殊规律,尝试以生产及其规模的不同,把社会发展划分为不同的发展时期,即从蒙昧时期发展到宗法时期、再经过野蛮时期进而发展到文明时期的过程。

社会学也在19世纪初登上了历史舞台。西方公认的社会学的创始人是法国人孔德(A ·Comte,1798—1857),他曾担任著名空想社会主义者圣西门的秘书。他在1838年完成的《实证哲学教程》中提出了社会学概念,讨论了知识和社会的关系,讨论了知识体系问题。在孔德看来,知识与社会的进程存在着一种对应关系。人类的认识过程划分为神学阶段(虚构阶段)、形而上学阶段(抽象阶段)、科学阶段(实证阶段)。人类社会的发展阶段,相应的是军事时期、过渡时期、工业时期。圣西门已经从科学的顺序应同自然现象本身的复杂顺序相符合的思想出发,指出科学的排列顺序应该是天文学、物理学、化学和生理学。孔德进一步把各门学科排列成这样一个顺序:数学、力学、天文学、物理学、化学、生物学、社会学。并提出了全面整体教育思想,即教学和学习中,应先学排在前面的学科,然后再学排在后面的学科。

哲学,作为自己时代精神的集中的体现,在19世纪也相应地发展到了一个崭新的阶段。黑格尔是哲学史上集辩证法之大成者,正如我们在上一节中已经指出的,他的深刻的辩证法中也充满着

丰富的系统思想。唯物主义者费尔巴哈坚决批判了宗教神学和唯心主义，但是他在批判黑格尔时把黑格尔体系中的辩证法思想也一起抛弃了，在自然界的看法中坚持了唯物主义，却在社会历史领域里陷入了唯心主义。在费尔巴哈看来，在自然界中，一切都是交互影响的，如果说自然界有目的性的话，那就是自然界的统一性、因果联系、和谐、自然界中一切事物存在和活动的总联系。费尔巴哈还指出，自然界处于不断发展演化之中，地球并非从来如此，而是经历了一系列的发展变化和变革之后，才成为今天的状况。他认为，地球曾经历过一个巨变的时代，现在则是进入了稳定为主的时代。

总之，19 世纪的社会的发展，科学技术的发展、哲学社会科学的发展，各门学科各个领域，都表现出由分析进入综合的趋势、由部分发展到整体的趋势。正是在这样的时代背景下，马克思主义的奠基人——马克思和恩格斯批判地继承了人类历史上的一切优秀的思想成果，包括系统思想的优秀成果，才创立了马克思主义，实现了人类认识史上的一次重大变革，同时也就丰富和发展了系统思想。

## 3.2　马克思的系统思想

随着 19 世纪系统性知识的形成，马克思继承前人的系统思想，在创立历史唯物主义的同时就形成了系统观，把系统观作为对世界的总的看法包括在唯物辩证法中，使之成为马克思主义世界观的一个组成部分，并且把它具体贯彻到自己的实践和科学研究中去。马克思是运用系统思想、系统观对世界上最复杂的系统——社会系统进行科学解剖的典范。

首先，马克思把社会作为一个有机整体来看待，并把它作为研究社会现象的基点。在马克思看来，社会关系就是“一切关系同时

存在而又相互依存的社会机体”。[1]对于社会的经济形态，它也是一个有机的整体。生产力和生产关系的辩证统一构成了生产方式，而生产关系的总和构成了社会的经济形态。

其次，马克思根据组成社会机体的不同的要素、结构、层次、环境以及作用条件等揭示出这个机体的不同运动规律。他在《政治经济学批判·导言》中把生产、分配、交换、消费看作是构成有机机体的不同要素，这些“不同要素之间存在着相互作用”。[2]

再次，马克思把整个社会形态的发展当作一个有机体的进化过程来加以研究。他说：“现在的社会不是坚实的结晶体，而是一个能够变化并且经常处于变化过程中的机体。”[3]他指出，社会经济系统的发展过程是一个自然历史过程，从而整个社会系统的发展也是一个自然历史过程。正因他揭示了社会系统的发展过程，才创立了科学的社会进化论——历史唯物主义。

在标志马克思主义诞生的《关于费尔巴哈的提纲》中，马克思批判了仅仅从认识主体或客体方面来理解认识的缺陷，提出了马克思主义的实践观。从系统思想的角度来看，也就是要把认识的主体和客体、主观和客观作为在实践基础上联系起来的系统来加以理解。认识是人的认识，而且，人并非仅仅是个体意义上的人，人受制于环境，也改变着环境，人只能放在社会系统中、放在与环境的关系之中来加以理解。马克思写道：“人的本质并不是单个人所固有的抽象物。在其现实性上，他是一切社会关系的总和。”[4]

马克思和恩格斯在《德意志意识形态》中从正面论述了马克思主义哲学特别是唯物史观的一系列基本原理，系统的思想就已经表现得十分充分了。在马克思和恩格斯看来，应该系统地理解人类

---

① 马克思恩格斯选集第四卷.北京：人民出版社，1972年，145

②、③ 马克思恩格斯选集第二卷.北京：人民出版社，216，208

④ 马克思恩格斯选集第一卷.北京：人民出版社，1972年，18

生存和发展，其自然基础方面，如地质条件、地理条件、气候条件等等，还包括人口的增殖，都是重要的，的确是影响历史发展的基本因素的一部分，但若仅仅停留于此就是不够的，更重要的是要看到物质资料的生产和再生产。他们指出："人们为了能够'创造历史'，必须能够生活。但是为了生活，首先就需要衣、食、住、行以及其他东西。由此第一个历史活动就是生产满足这些需要的资料，即生产物质生活本身。"[①] 马克思和恩格斯注意到人类生存和发展的系统性，以及其中的最重要部分的决定性作用，从而就奠定了整座历史唯物主义大厦的基础。

在《资本论》这本著作中，马克思的辩证法思想的运用得到了光辉的体现，他的系统思想的运用也得到了光辉的体现。《资本论》始终把资本作为一个整体，即作为生产过程和流通过程的统一来考察。第一卷研究的是资本的生产过程本身，即直接的生产过程。但是，同时也考察了流通现象，即资本家作为买者出现于市场所完成的G—W的流通行为和资本家作为卖者出现于市场所完成的W—G的流通行为。第二卷进把资本流通放人整个社会再生产过程的媒介来考察和研究了资本的流通过程，揭示出："资本主义生产过程，就整体来看，是生产过程和流通过程的统一。"第三卷研究的是资本主义生产的总过程，同时也就深人考察了生产过程和流通过程的统一，从而"解释和说明**资本运动过程作为整体考察**时所产生的各种具体形式。"[②]

马克思在《资本论》第一卷第二版跋中引用了一段评论。评论中写道："在马克思看来……经济生活呈现出的现象，和生物学的其他领域的发展史相类似……对现象所作的更深刻的分析证明，各种社会机体像动植物体一样，彼此根本不同……由于各种机体

① 马克思恩格斯选集第一卷．北京：人民出版社，1972年，32
② 马克思恩格斯选集第二卷．北京：人民出版社，1972年，216—217

的整个结构不同，它们的各个器官有差别，亦即器官借以发挥作用的条件的不一样等等，同一个现象却受完全不同的规律的支配。……这种研究的科学价值在于阐明了支配着一定社会机体的产生、生存、发展和死亡以及为另一更高的机体所代替的特殊规律。"马克思总结说："这位作者先生把他称为我的实际方法描述得这样恰当，那他所描述的不正是辩证方法吗？"① 这位作者在评述中，指出的是马克思体现在《资本论》中的辩证法思想，也指出了其中的系统思想。

我们还可以对上面提及的那位作者评论的马克思原著——《政治经济学批判·导言》作进一步的具体分析。在这篇历史唯物主义的名著中，马克思具体运用系统思想、辩证的系统观剖析了人类社会，剖析了资本主义社会这种"历史上最发达和最复杂的生产组织。"马克思写道："我们得到了结论并不是说生产、分配、交换、消费是同一的东西，而是说，它们构成了一个总体的各个环节、一个统一体内的差别。……一定的生产决定一定的消费、分配、交换和**这些不同要素相互间的一定关系**。……不同的要素之间存在着相互作用。每一个有机整体都是这样。"②

正是用系统观点研究社会，使得马克思有可能真正揭示了社会发展的客观的、整体的规律。他在《政治经济学批判》序言中写道："我所得到的、并且一经得到就用于指导我的研究工作的总的结果，可以简要地表述如下：人们在自己生活的社会生活中发生一定的、必然的、不以他们的意志为转移的关系，即同他们的物质生产力的一定发展阶段相适应的生产关系。这些生产关系的总和构成社会的经济结构，即有法律的和政治的上层建筑竖立其上并有一定的社会意识形式与之相适应的现实基础。物质生活的生产方式制约着整个社会生活、政治生活和精神生活的过程。不是人们的

①、② 马克思恩格斯选集第二卷.北京：人民出版社，1972年，216—217，102

意识决定人们的存在，相反，是人们的社会存在决定人们的意识。社会的物质生产力发展到一定阶段，便同它们一直在其中活动的现存生产关系或财产关系(这只是生产关系的法律用语)发生矛盾。于是这些关系便由生产力发展形式变成生产力的桎梏。那时社会革命的时代就到来了。随着经济基础的变更，全部庞大的上层建筑也或慢或快地发生变革。"[①] 我们从这段充满唯物辩证法和历史唯物论的光辉论述中，不难看出其中闪耀着系统思想、系统观，他所描述的不正是一幅社会静态结构和动态发展结合的系统图景吗？我们可以用图 3-2-1 把这段论述展现出来。

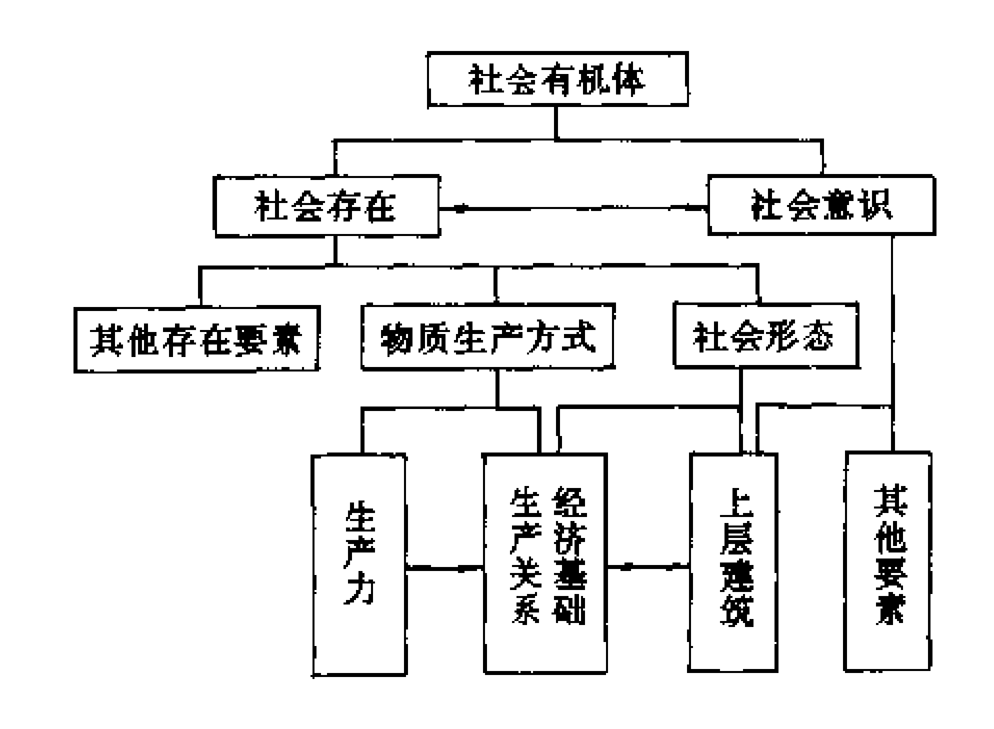



图 3-2-1　马克思的社会有机体

在马克思看来，"社会经济形态的发展是一种自然历史过程"。[②]他正是运用了系统观点把人类社会作为一个生命有机体进行考察，才得以揭示社会形态的系统发育过程，进而从社会形态的依次更替中得出了社会发展运动的一般规律，得出了资本主义必

①、② 马克思恩格斯选集第二卷. 北京：人民出版社，1972 年，82—83，208

然灭亡，共产主义必然胜利的科学结论。

马克思还结合政治经济学的研究方法讨论了具体和抽象的关系，实际上这已相当深刻地阐述了系统方法的基本原则。在马克思看来，从认识发展来看，具体与抽象的关系，与理论思维的发展具有一致性，这是一个从浑沌的抽象的整体，经过化整为零的分析研究，进而再回到具体的综合的整体的过程，具体与抽象的关系也就体现于其中。从浑沌的具体进入思维的抽象，再进入思维的具体，在思维中把握整体对象，这是既与传统的混沌整体论相区别，又与片面强调分析的原子论相区别的方法，它实际上就是系统方法最基本原理的一种表述。

总之，马克思实际上已经论证了系统观是辩证唯物主义世界观的重要组成部分。尽管他是用那时的语言来表述这一切的，他本人并没有明确提出诸如"系统观"、"系统方法"这样的表述，但是，这样的表述已经体现在他的完整的思想体系之中，体现在他对于社会亦即社会经济的剖析之中。一般系统论的创立者贝塔朗菲就认为，系统观念的历史，应当追溯到马克思和黑格尔的辩证法。西方学者也承认，马克思率先把系统方法应用于社会历史研究，是"社会科学中现代系统方法的始祖。"[①]

## 3.3 恩格斯的系统思想

众所周知，辩证唯物主义的自然观是马克思和恩格斯共同奠定的，并主要是由恩格斯发挥阐述的。恩格斯所阐发的辩证自然观，其中也是充满了丰富的系统思想，实际上系统思想已成为辩证自然观的一个有机组成部分。恩格斯的系统思想是很丰富的，我们这里主要是扼要涉及到他在阐发辩证自然观时所阐发的系统思想。

---

① 马克思和现代系统论.外国社会科学，1979年6期

恩格斯几乎已经使用系统理论的语言来表述关于自然界是一个有机的整体系统的思想。恩格斯写道："我们所面对的整个自然界形成一个体系，即各种物体相互联系的总体，而我们在这里所说的物体，是指所有的物质存在，从星球到原子，甚至直至以太粒子，如果我们承认以太粒子存在的话。这些物体是相互联系的，就是说，它们是相互作用着的，并且正是这种相互作用构成了运动。"[①] 这里的"体系"一词，就是系统的意思。从翻译上看，这个词可以翻译为体系，也可以翻译为系统，系统理论中的系统一词，也正是这个词。

在恩格斯看来，整个世界是一个有机联系起来的复杂的系统，正是相互联系、相互作用构成了运动，因而这就是一个自发运动、自我组织的复杂系统，而且永远处于运动、变化和发展之中。所以，恩格斯紧接着上面那段话写道："由此可见，物质没有运动是不可想象的。其次，既然我们面前的物质是某种既有的东西，是某种既不能创造也不能消灭的东西，那么运动也就是既不能创造也不能消灭的。只要认识到宇宙是一个体系，是各种物体相互联系的总体，那就不能不得出这个结论来。"[②] 恩格斯的关于辩证自然观的基本点的表述、关于世界是一个过程结合体的表述，都是跟上述的认识相联系的。关于辩证自然观的基本点，即是物质世界总是处于运动、变化和发展之中，"整个自然界被证明是在永恒的流动和循环中运动着。"[③] 或者采用另一种表述，即如同他在《路德维希·费尔巴哈和德国古典哲学的终结》中表述的，"世界不是一成不变的事物的集合体，而是过程的集合体"。[④] 恩格斯在这里从唯物主义的立场出发，扬弃黑格尔辩证法中的唯心主义因素，也扬弃了黑格

①、② 恩格斯. 自然辩证法. 北京：人民出版社，1971 年，54，54

③ 恩格斯. 自然辩证法. 北京：人民出版社，1971 年，16

④ 马克思恩格斯选集第四卷. 北京：人民出版社，1972 年，240

尔丰富系统思想中的唯心主义成分，从而把被黑格尔颠倒了的东西再颠倒过来，既揭示了自然界的系统性即是"集合体"，也揭示了自然界的演化性即是"过程"。

对于这个复杂的总体系统，恩格斯在这里不仅讲了它的整体联系，而且讲了它存在着一定层次结构。在其他地方，恩格斯更完整地表述了他关于物质世界系统层次的思想。他写道："关于物质构造不论采用什么观点，下面这一点是非常肯定的：物质是按质量的相对大小分成一系列较大的、容易分清的组……可见的恒星系、太阳系，地球上的物体，分子和原子，最后是以太粒子，都各自形成这样的一组。"[①] 恩格斯还从质量互变角度分析了物质系统的层次性问题。恩格斯指出，物质系统的层次性在于物质系统的"纯粹的量的分割是有一个极限的，到了这个极限它就转化为质的差别：物体纯粹是由分子构成的，但它是本质上不同于分子的东西，正如分子又不同于原子一样。"[②]他还尝试揭示出物质世界的层次结构与一定的运动形式的内在联系。这就是根据当时自然科学的认识，尝试将一定的运动形式与其物质载体相联系起来。机械运动形式相应于质量，物理运动形式对应于分子，化学运动形式对应于原子，生物运动形式以蛋白质为物质载体，……这样做的同时，也就提出了运动的层次性问题，即运动也有一个上升的等级阶梯。不同的运动阶梯与不同的运动形式相联系，高级的运动形式中包含着低级的运动形式，但不能还原为低级的运动形式。从发展的角度看，自然系统的发展也就表现出一定的阶段性，高级阶段由低级阶段发展而来，但不能还原为低级的阶段。

在探讨质量互变规律时，恩格斯也阐发了许多系统思想。他是将系统中要素的空间排列即系统的结构归入量的范畴来加以讨论的。关于碳氢化合物的同分异构现象，恩格斯在《自然辩证法》中写

---

①、② 恩格斯. 自然辩证法. 北京：人民出版社，1971 年，248，48

道："同分异构体，它们在分子中包含有相等数目的C、H、O原子，但是在质上却各不相同。"[①] 所谓同分异构体，指的是分子的化学组成成分及原子数量相同而原子的空间排列不同因而其性质不同的化合物，例如乙醇和甲醚的分子式相同，但原子的空间排列次序不同，因而两者性质截然不同。从系统思想的角度来看，这里就已经涉及了系统的结构和功能的关系问题。特别在讨论生物学问题时，恩格斯关于结构与功能相互联系、相互作用和相互转化的思想就更为明确了。恩格斯写道："整个有机界在不断地证明形式和内容的同一或不可分离。形态学的现象和生理学的现象、形态和机能是互相制约的。形态（细胞）的分化决定物质分化为肌肉、皮肤、骨骼、表皮等等，而物质的分化又决定分化了的形态。"[②]

恩格斯在许多地方都谈到整体和部分的辩证关系。他引用了黑格尔对于机械论的部分与整体关系的批判，他写道："例如，部分和整体已经是在有机界中愈来愈不够的范畴。种子的萌芽——胚胎和生出来的动物，不能看作从'整体'分出来的'部分'，如果这样看，那便是错误的解释。只是在**尸体**中才有部分"。"**简单的和复合的**：这些也已经在有机界中失去了意义的范畴是不适用的。无论骨、血、软骨、肌肉、纤维质等等的机械组合，或是各种元素的化学组合，都不能造成一个动物（黑格尔《全书》第1部第256页）。有机体**既不是**简单的**也不是**复合的，不管它是怎样复杂的。"[③]在《反杜林论》中，恩格斯还批判了杜林只从量的方面来理解整体与部分的关系，指出这样的关于"整体大于部分"的命题，"纯粹是同义反复"。[④]

对于社会现象，恩格斯还谈到马克思关于整体不等于部分的简单加和的观点。在《反杜林论》中，恩格斯写道："例如这样的事

---

①、②、③ 恩格斯. 自然辩证法. 北京：人民出版社，1971年，51，281，191—192

④ 马克思恩格斯选集第三卷. 北京：人民出版社，1972年，78

实：许多人协作，许多力量融合为一个总的力量，用马克思的话来说，就造成‘新的力量’，这种力量和它的一个个力量的总和有本质的差别。”[①] 这里就已经论述了整体大于部分这个系统论的基本原理。他还进一步引用了拿破仑的论述：骑术不精但有纪律，善于配合和协同作战的法国骑兵，与骑术精良、善于单个格斗但没有纪律又不善于互相配合和协同作战的马木留克兵之间，“两个马木留克兵绝对能打赢三个法国兵；一百个法国兵与一百个马木留克兵势均力敌；三百个法国兵大都能战胜三百个马木留克兵，而一千个法国兵则总能打败一千五百个马木留克兵。”[②]这里已经指出，系统整体的功能不同于部分的功能，也不是部分功能的简单加和，当系统的要素之间协同配合时，可以使系统整体上产生出新质，整体功能得以优化，发挥出最好的作用和效益。

恩格斯关于达尔文学说的评价，特别是又成为现代动态系统自组织理论的思想先驱之一。在达尔文之前，人们往往只看到自然界的和谐与合作。按照达尔文的学说，物竞天择、适者生存。这样一来，在达尔文学说被承认之后，一些人就立即只片面的看见斗争。恩格斯指出，这两种看法都具有片面性。他指出：“自然界中死的物体的相互作用包含着和谐和冲突；活的物体的相互作用则既包含有意识的和无意识的合作，也包含有意识的和无意识的斗争。因此，在自然界中决不允许单单标榜片面的‘斗争’。”[③]这在今日的动态系统自组织理论看来，是特别亲切的。耗散结构理论把非线性相互作用——相互作用就是竞争和合作——作为系统自组织的基本前提之一。超循环理论研究的是大分子通过竞争实现协同整合，协同之中又存在竞争，从而得以自组织进化。协同学，正如其名称表明的，它研究的是大量子系统如何在竞争之中实现合作的学说。在这里，竞争和协同都是重要的，片面地标榜某一方面都是不

①、②、③ 马克思恩格斯选集第三卷．北京：人民出版社，1972年，166，168，283

允许的。恩格斯概括有机系统的进化规律之一："形态越高，进化就越快。"[1]这在今日系统自组织进化理论中，也得到了光辉的体现，今日的各个关于系统演化的理论，都自觉不自觉地承认这一点。

我们还要特别指出的有两点。一是恩格斯批判扬弃了黑格尔唯心辩证法中的唯心论因素，揭示了辩证法基本规律是自然界的实在过程，也就揭示了辩证法基本规律是系统变化发展的最一般规律，并为现代系统理论的研究所证实。二是恩格斯不仅仅是从若干方面和若干问题上阐发了系统思想，而是从整个人类认识史入手，分析了自然观发展的最一般规律，从而也就预示和揭示了系统思想兴起的必然性。

在恩格斯看来，由于19世纪自然科学的进展，"现在，整个自然界是作为至少在基本上已解释清楚和了解清楚的种种联系和种种过程的体系而展现在我们面前。当然，唯物主义的自然观不过是对自然界本来面目的朴素的了解，不附加任何外来的成分，所以它在希腊哲学家中间从一开始就是不言而喻的东西。"[2]但是，这种混沌的素朴的整体观是有缺陷的。恩格斯指出："在希腊人那里——正因为他们还没有进步到对自然界的解剖、分析——自然界还被当作一个整体而从总的方面来观察。自然现象的总联系还没有在细节方面得到证明，这种联系对希腊人来说是直接的直观的结果。这里就存在着希腊哲学的缺陷，由于这些缺陷，它在以后就必须屈服于另一种观点。"[3]

这就是它后来屈服于近代科学初期的机械自然观。机械自然观是与自然科学的初步发展相适应的产物。"因为那时在所有自然科学中达到了某种完善地步的只有力学，而且只有刚体(天空的和地上的)力学，简言之，即重量的力学。化学刚刚处于幼稚的燃素说

---

① 马克思恩格斯选集第三卷.北京：人民出版社，1972年，282

②、③ 恩格斯.自然辩证法.北京：人民出版社，1971年，177，30

的形态中。生物学尚在襁褓中；对植物和动物的机体只作过极粗浅的研究，并用纯粹的机械的原因来加以解释；正如在笛卡儿看来动物是机械一样，在十八世纪的唯物主义者看来，人是机器。仅仅运用力学的尺度来衡量化学过程和有机过程（在这些过程中，力学定律虽然也起作用，但是被其他较高的定律排挤到次要地位），这是法国古典唯物主义的一个特有的、但在当时不可避免的局限性。”恩格斯进一步分析了这种唯物主义的第二个缺陷，即“它不把世界理解为一种过程，理解为一种处于不断的历史发展中的物质。这是同当时的自然科学状况以及与此相联系的形而上学的即反辩证法的哲学思维方法相适应的。”[①]

经过这样一个过程，即“必须先研究事物，而后才能研究过程。必须先知道一个事物是什么，而后才能觉察这个事物中所发生的变化。”[②]随着自然科学的进步，特别是关于能量守恒与转化定律、细胞学说和达尔文进化论这三大发现，“使我们对自然过程的相互联系的认识大踏步地前进了”，“由于这三大发现和自然科学的其他巨大进步，我们现在不仅能够指出自然界中各个领域内的过程之间的联系，而且总的说来也能指出各个领域之间的联系了，这样，我们就能够依靠经验自然科学本身所提供的事实，以近乎系统的形式描述出一幅自然界联系的清晰图画。”[③]恩格斯在这里指出了系统思想兴起的必然性，同时也就已经预言了系统思想的进一步的发展的必然性。

---

①、②、③ 马克思恩格斯选集第四卷．北京：人民出版社，1972年，224，240，241—242

我们应该回到系统这一根本概念，采用“系统科学”这个词。系统科学是并列于自然科学和社会科学的，是基础科学。

钱学森　见：《光明日报》1979 年 11 月 10 日

# 4　现代系统思想的兴起

19 世纪下半叶以来，科学技术进入全面发展的新时期。自然科学由总体上收集经验材料、分门别类研究阶段，进入了整理经验材料、走向理论综合的发展新阶段，不断从新的水平上揭示了自然界的普遍联系和普遍发展，同时也逐步暴露出近代科学的局限性。以电力技术的应用为标志，开始了近代的第二次技术革命，促进了经济的高涨，又一次极大地推进了人类社会的发展。

20 世纪的科学技术在近代科学技术的基础上得到了进一步的飞跃发展。20 世纪一开始，就出现了持续达 30 年之久的物理学革命，相对论和量子力学开创了科学的新局面。自然科学的全面的空前发展，使之开始形成一个多层次的、综合的统一整体。社会科学也有了长足的进步。科学技术的进展，与社会科学的结合，推动了科学技术的社会化，也推动了社会的科学技术化。这是科学技术的新的综合的时代，从而也呼唤着自己时代的科学技术在理论形态上的新的综合。系统思想在 20 世纪时代科学技术的要求下得到了极大的发展。

## 4.1　新的呼唤：统计性、演化性和系统性

近代科学以原子论研究纲领为自己的坚定信念。它相信，整体的有组织的事物可以拆分为部分来研究和理解；事物的复杂性只是表面的现象，经过不断的分析就可以把复杂的东西归结为简单

的东西来加以研究和理解;相应地,非线性问题总是可以归结为或近似地归结为线性问题来解决,规律性就归结为机械决定论规律,即如同传统上对于牛顿力学的理解,只要知道了质点的初始条件和运动方程,过去和将来就可以精确求解出来。

现代科技革命是以物理学革命为先导的,人们都无例外地认识到相对论和量子论在这场物理学革命之中的意义。但,事实上,统计物理学也在对于牛顿力学的革命中发挥了重要的作用,如果说相对论实现了从低速推进到高速、以相对时空取代绝对时空,量子论从宏观推进到微观、以间断补充了连续,那么统计力学则从可逆推进到不可逆、以复杂性取代了简单性。控制论的创立者维纳把统计的观点当作控制论的核心生长点,他甚至认为:由于吉布斯(W · Gibbs,1839—1903)对于统计物理的贡献,"我相信,我们必须把二十世纪物理学的第一次大革命归功于吉布斯,而不是爱因斯坦、海森堡或是普朗克。"[①] 尽管人们未必完全赞同维纳的观点,但是他正确指出了统计观点对于牛顿力学的冲击则是在后来变得越来越清楚了。耗散结构理论的创立者普里戈金则写道:波耳兹曼对于热力学第二定律所作的统计表述,使得概率的观点第一次在物理学中起了根本的作用,"这立即使我们远远超过了牛顿。物理概念第一次用概率解释出来。"[②]

经典力学在近代科学中的辉煌成功,使得它成为了近代科学的研究范式。实际上,经典力学的思想就往往成为了近代科学思想的同义语。按照经典动力学,时间 t 出现在牛顿方程中:$\boldsymbol{F}=m\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}/\mathrm{d}t^2$。这个方程描述了质量为 $m$ 的质点在力的作用下的运动规律。如果把时间符号改变一下,使 $t=-t$,这个方程是不变的,即对于

---

① 维纳.陈步译.人有人的用处.北京:商务印书馆,1989 年,4

② 普里戈金、斯唐热著.曾庆宏、沈小峰译.从混沌到有序.上海:上海译文出版社,1987 年,168

时间反演是可逆的、对称的。利用牛顿方程,可以决定过去,也可以决定将来,这里给予人们一幅可逆的、对称的物理图象。

而在热力学领域,19世纪中叶相继建立起热力学第一定律和热力学第二定律,从而奠定了热力学的理论基础。热力学第一定律即能量守恒与转化定律,热力学第二定律则表述了能量传递方向。克劳修斯(R. J. E. Clausius,1822—1888)在1867年提出了热力学第二定律的熵表述。波耳兹曼(L. Boltzmann,1844—1906)于1872年给予其以统计解释,并于同年引入H函数,由H函数导出了H定理。H定律表明,热力学过程的不可逆性与熵增过程必然联系在一起,并可从分子运动论得到解释。以后经过吉布斯的进一步工作,就建立起来统计力学。统计力学这一概念是吉布斯于1901年正式提出来的。

热力学第二定律建立之时,已经接触到自然过程的不可逆性问题,克劳修斯进一步明确了热力学自然图景的方向性,波耳兹曼在提出H定理之前已经提出了各态历经假说对于相空间概率流的类型进行分析讨论,可以看作是对于不可逆过程的起源的一种探讨。按照热力学图象,大量粒子的系统的运动过程不可逆,如同热力学的傅立叶(J. Fourier,1768—1830)热传导方程所体现出来的时间反演不再对称。而按照动力学图象,单个粒子的运动过程是可逆的,如同牛顿力学的运动方程所揭示的时间反演则是对称的。值得指出的是,尽管由大量粒子组成的热力学系统的宏观运动是不可逆的,但系统中的粒子的运动却仍然是可以服从动力学方程的,是可逆的。这种可逆的微观动力学方程和不可逆的宏观运动之间的矛盾,就构成了复杂系统物理学所面临的基本问题之一。

熵增原理的出现,标志了物理学之中出现演化。按照这个原理,一个孤立的系统,总是要朝向均匀、简单、消灭差别的方向发展。克劳修斯甚至把这一原理推向整个宇宙,得出了著名的宇宙热寂说的结论:宇宙总体上在走向退化之中,最终将不可逆地达到一

个种种物理差别不复存在的“死亡”状态。热力学第二定律表述的物理学演化图景，实质上是一幅退化的自然图景。

但是，在生物学中，达尔文进化论却告诉了我们另外一幅图景，一幅蓬勃向上的图景。复杂的生命有机体从无机界发展出来，从单细胞到多细胞、从低级生物到高级生物，经历了一个从低级向高级、从简单到复杂的不断演化，这是一幅进化的自然图景。生物的发展又给出了一个时间箭头，这就是进化的时间箭头。进化的时间箭头与退化的时间箭头之间，物理学与生物学之间，形成了鲜明的对照，产生了所谓的克劳修斯与达尔文矛盾。建立在牛顿力学基础上的熵增原理却无法解决这个矛盾，熵增原理在解释复杂性进化问题上的失效，暴露了牛顿力学的局限性，实际上也就意味着动摇了牛顿力学大厦的基石。

对于20世纪来说，“十九世纪是带着一种矛盾的情景——作为自然的世界和作为历史的世界——离开我们的。”[①]而普里戈金本人正是在对于这对矛盾的苦苦求索中，才得以创立起耗散结构理论的。

19世纪的这样一幅矛盾的图景，并非仅仅出现在物理学与生物学领域之间，也出现在生物学内部。这就是在19世纪与20世纪之交发生的一场生物学的机械论与活力论之争。

在生物学史上，一直存在着机械论和活力论之间的争论。机械论在生物学中表现为一种简化论和机械决定论。他们用分析方法把生物简化为物理和化学问题，纯粹用物理和化学原因来说明一切生命的生理现象和心理过程。按照这样一种观点，一种原因只能产生一种结果，反之亦然。活力论者则认为，生物机体内存在一种特殊的“活力”，它支配着整个生命过程。他们断言，与无机界相反，

① 湛垦华、沈小峰等编. 普利高津与耗散结构理论. 西安：陕西科学技术出版社，1982年，普里戈金的“序”

有机界是由一种支配着生物体内全部物理化学过程的有一定目的的、超物质的(超自然的)力量所产生的,因此在有机界与无机界之间存在着一道不可逾越的鸿沟。自从维勒在19世纪人工合成尿素获得成功以来,沉重地打击了活力论,使得机械论的观点重新在生物学领域里取得了一定的支配地位,但活力论也仍然在一些科学没有解决的问题的领域中巩固自己的阵地。

19世纪末20世纪初,新的活力论重新抬头。契机是其代表人物德国生物学家杜里舒(H·Driesch)的实验以及他的观点的转变。他在1894年写作的著作中坚持的是机械论的观点,其后只隔了5年,他在另一部关于胚胎学的著作中则明显地转向了活力论的观点。他写道:"当我漫步于造船码头时,我对于正在发生了事情仍然是蒙昧无知的。我能看到每个部件是如何制造出来的,但不知道它们如何将它们装配成一个'整体'。"① 显然,他这时所说的"整体"决不意味着是机械论的简单加和起来的整体。杜里舒的这种观点是以他的关于海胆胚胎的著名实验为依据的。在实验中,他在海胆的原肠胚的阶段,将其切成两半,结果是那两个半个原胚肠竟然发育成为两个较小的完整的胚胎,最后发育成为完整而较小的幼虫。这完全出乎于预料,原先以为两个半胚只能发育成为两个不完整的幼虫。这表明,这里的整体的确不是由部分简单构成的,不同的原因没有产生不同的结果,相反倒是产生了相同的结果,机械论的观点在这里显得苍白。作为机械论者的杜里舒百思不得其解,他认为这里的异因同果律是与物理学定律相矛盾的,这里有某种活力因素控制着由目的所预定的过程,使正常有机体得以形成,所以只能用类似于灵魂的活力因素来加以解释。这一实验对于机械决定论是一次重大打击,使机械论在复杂的生命现象面前陷入

① 见:王雨田主编.控制论、信息论、系统科学与哲学.北京:中国人民大学出版社,1988年2版,426

了困境。正是这个原因，也就促使了杜里舒转向了活力论。

作为对这种时代科学成果的反应，在另一些生物学家和哲学家看来，只有把生命看作一个有机的整体，才能解释这些实验事实。他们主张用机体论来代替活力论和机械论。20 世纪 20 年代，英国哲学家怀特海(N · Whitehead，1891—1947)指出，机械论的分析方法易使人误入歧途，应该用机体论来代替科学上的决定论。他提出了过程哲学，认为实在的本质就是不断的活动和变化。美国的劳特卡(A · J · Lotka)1925 年发表《物理生物学原理》，德国人克勒(W · Konler)1927 年发表《论调节问题》，他们都强调了机体论、整体论观点，并对当时学术界产生了重要影响。贝塔朗菲的系统论思想，就是在这样的一种背景下孕育的。

贝塔朗菲在 20 世纪 20 年代已经多次发表文章表达了机体论思想，强调把有机体当作一个整体来考虑，并认为科学的主要目标就在于发现种种不同层次上的组织原理。1932 年，他发表了《理论生物学》，1934 年发表《现代发展理论》，提出用数学和模型来研究生物学的方法和机体系统论概念。他已经指出，机械论有三个错误观点，其一是简单相加的观点，把有机体分解成要素，并把要素简单地加和来说明有机体的属性；其二是“机械”的观点，把生命现象简单地比做机器，认为“动物是机器”，以至“人是机器”；其三是被动反应的观点，即把有机体看作只有受到刺激时才作出反应，否则就静止不动。贝塔朗菲批判地继承前人的机体论思想，把协调、秩序、目的性等概念用于研究有机体，进而形成了自己的关于系统的一些基本观点：

1. 整体观点，认为一切有机体都是一个整体，一种在时空上有限的具有复杂结构的一种自然整体。他认为：“复杂现象大于因果链的独立属性和简单总和。解释这些现象不仅要通过它们的组成部分，而且要估计它们之间的联系的总和。有联系事物的总和，可以看作具有特殊的整体水平的功能和属性的系统。”他已经把系

统定义为："相互作用的诸要素的复合体"。[1]

2. 动态观点，认为一切生命现象本身都处于积极的活动状态，活的东西的基本特征是组织。他把生命的机体看作一个能保持动态稳定的系统，这种动态稳定的系统能够抵抗环境对于机体的瓦解性的侵犯。他认为生命是一个开放系统，主要从生物体与环境的相互作用中说明生命的本质，指出开放系统可以实现异因同果律，从而回答了新活力论的挑战。

3. 等级观点，认为各种有机体都是按照严格的等级组织起来的，生物系统是分层次的，从活的分子到多细胞个体，再到超个体聚合物，形成了层次结构。他认为传统的方法只是将各部分各过程进行研究，而没有包括协调各部分各过程，因而不能完整地描述活的现象。他提出，生物学的主要任务是发现在生物系统中（在组织的一切等级上）起作用的规律，从而建立起一种机体论来取代机械论和活力论。

从以上可以看出，贝塔朗菲已经初步形成了他的一般系统论思想。他的这一机体论的新思想，尽管得到了一些学者例如李约瑟的赞同，但却遭到生物界权威人士的责难，被指责为"愚蠢的人"。1937 年，他在芝加哥大学的一次哲学讨论会上第一次提出了一般系统论概念，但由于当时的压力而未发表。后来，他在 1945 年的《德国哲学周刊》第 18 期上发表"关于一般系统论"一文，但不幸该杂志刚印出来就毁于战火之中，使得他的思想几乎无人知晓。一直到战后，1947 年至 1948 年他在美国讲课和专题讲座中多次阐述了他的思想，这才使一般系统论作为一门新兴学科初露头角。

贝塔朗菲在第二次大战后在美国接触到许多新思想，如控制论、信息论、博奕论、决策论、图论、网络理论、现代组织论等等，这些理论、学科几乎是沿着类似的思想路线发展起来的，这对于他是

---

① 见：魏宏森著．系统科学方法论导论．北京：人民出版社，1983 年，24

极大的鼓舞，使他确信一般系统论的思想是符合现代思想发展潮流的，于是他同经济学家保尔丁、生物数学家拉波波特、生理学家杰拉德一起，以社会科学、行为科学、政治科学和经营学等领域的研究者为主体，于1954年成立了“一般系统论学会”(后改名为“一般系统论研究会”)，并得到美国科学促进会的承认。20世纪50年代，贝塔朗菲等人为发展和宣传一般系统论作了艰苦的努力，但其影响却远不如几乎同时诞生的控制论和信息论。一直到了20世纪60至70年代，一般系统论才真正受到人们的普遍重视。

## 4.2 社会演进：运筹和管理

19世纪末，随着自由资本主义开始向垄断资本主义过渡，生产规模日益扩大，专门从事组织管理的阶层也就随之出现了。当时的管理一般只凭经验去处理安排生产中的分工合作问题，也初步建立了一些岗位责任制之类的管理制度。这样的管理方式在实践中已经显得越来越不适应日益高涨的生产和经济发展的需要了。

正是在这样的背景下，美国工程师泰罗(F·W·Taylor，1856—1915)开创了“古典管理理论”时期。泰罗从1880年开始，在一家钢铁厂进行试验，系统地研究和分析工人的工作方法，从而逐渐形成了后来被称为“科学管理”或“泰罗制”管理理论和管理制度。他的代表作是1911年出版的《科学管理的原理》一书。泰罗倡导的科学管理，主要探讨了在工厂中提高劳动生产率问题。他们认为，工人提高劳动效率的潜力是很大的。他们在实验的基础上，制订了所谓的标准操作方法，并将其运用于对于工人进行训练和制订较高的工作定额的依据。与此同时，还将工人使用的工具、机械、材料以及作业环境加以标准化。在他看来，雇主关心的是低成本，工人关心的是工资，为此必须取得两方面的合作，特别是为了鼓励工人完成工作定额，就要实行一种有差别的、刺激性的计件工资制。很明显，泰罗制提高了劳动生产力。泰罗制主要解决的是作业

方面的问题，对于计划职能和执行职能的划分、职能管理、组织结构的管理控制等问题只是有所涉及，还没有较深入地涉及管理的系统化问题。[1]

法国工程师法约尔(H·Fayol,1841—1925)随之对于职能管理，组织管理问题作出了重要贡献，推动了管理进一步从经验管理向科学管理过渡。法约尔的管理理论是以大企业的整体为研究对象的，他认为他的理论还适用于军政机关乃至宗教组织等领域。在法约尔看来，管理不同于经营，管理只是经营的六种职能活动(技术活动、商业活动、财务活动、安全活动、会计活动和管理活动)之一，而管理活动本身又包含五种因素，即计划、组织、指挥、协调和控制。他对管理的五种因素进行了比较深入的研究，提出了十四条管理原则：1. 分工；2. 权限与责任；3. 纪律；4. 命令的统一性；5. 指挥的统一性；6. 个别利益服从整体利益；7. 报酬；8. 集权；9. 等级系列；10. 秩序；11. 公平；12. 保持人员稳定；13. 首创精神；14. 集体精神。显然，法约尔的管理思想中已经具有较多的系统思想，他是比较注意把企业看作一个有机的整体组织、从企业的整体上来研究问题的。法约尔的管理思想，也被称作组织管理思想。

德国的韦伯(M·Weber,1864—1920)是另一位重要的组织管理思想家，他的思想集中体现在《社会组织与经济组织管理》一书中。他于1910年开始写作和宣传的这本书，生前未能完成写作，直至他逝世后才出版。他在管理思想上的最重要贡献是提出了所谓的“理想的行政组织体系理论”，以至他被后人称作“组织管理之父”。按照韦伯的解释，现代的行政组织是这样来发挥作用的，“存在一种正式的**管辖范围**的原则，这种管辖范围一般是由规则(即法律或行政规定)来确定的。这意味着：(1) 按行政方式控制的机构

① 马洪.国外经济管理名著丛书前言.见：泰罗.科学管理原理.北京：中国社会科学出版社，1984年

的目标所要求的日常活动，是作为正式职责来分配的；(2) 执行这些职责所需要的权力是按一种稳定的方式来授予的，并且由官员能加以控制的肉体的、宗教的或其他的强制手段来严格地加以限制；(3) 对于正常而持续地履行职责和行使相应的权利和方法有所规定；只有按照一般规定符合条件的人才被雇佣。这三项要素在国家的领域构成为一个行政组织体系的机关，在私营经济的领域构成一个行政组织体系的企业。这样理解的行政组织体系，在政治和世俗社会中，只有在现代国家中才得到充分的发展；在私营企业中，只有在最先进的资本主义机构中才得以充分的发展。从历史上讲，具有固定职权范围的永久性机构并非一种常规，而只是一种例外。"①

泰罗、法约尔、韦伯等人奠定的古典管理理论，从那时起就对于管理思想和实践起到了重要的影响，促进了人们开始注意把工厂、企业乃至社会作为一个有机的、有序的组织来加以管理的问题。

在古典管理理论以后，西方的管理研究到 20 世纪 20 年代中叶进一步发展到"人际关系"——"行为科学"理论阶段。它要注意生产中的人际关系，人的需要，行为动机。通过 20 年代中到 30 年代在美国西方电器公司进行的一系列试验即著名的霍桑工厂试验，梅奥( E · Mayo，1880—1949)和罗特利斯伯格(F · J · Roethlisberger，1898—1974 )得出如下结论：1. 工人是社会人，是复杂社会系统的成员。要提高劳动生产率，还要从社会、心理方面来加以鼓励，因为工人并非单纯追求金钱收入，他们还有社会心理方面的需求。2. 企业中除了存在"正式组织"以外，还存在着"非正式组织"。正式组织是古典管理理论所指出的，为了有效地实现企业的目标、由规章、制度、方针、政策等来规定的企业中各成员之间

① 孙耀君著. 西方管理思想史. 太原：山西经济出版社，1987 年，177—178

相互关系和职责范围的一定组织体系。非正式组织是各成员在共同的工作过程中，由于社会感情即由于“惯例、价值观、准则、信念和非官方的规则”而形成的非正式团体。非正式组织与正式组织相互依存，它对生产率的提高影响很大，是有利有弊，弊多利少。3.新型的领导人要同时具有技术经济的能力和人际关系的能力，以“人为什么而工作”的基本观点为依据，看到职工的满足度是第一位的，而金钱、物质刺激是第二位的，其新型领导能力就在于提高职工的满足度，以提高职工的士气，从而提高劳动生产力。

梅奥等人的人际关系理论奠定了管理的行为科学方向发展的基础。到了 20 世纪 40 年代特别是第二次世界大战以后，与科学技术的进步、生产力的巨大发展和生产社会化程度的日益提高相联系，西方管理理论发展到一个新的阶段，出现了众多的管理学派，其中主要有：管理过程学派、社会系统学派、决策理论学派、系统管理学派、社会技术系统学派以及经验主义学派、权变理论学派和管理科学学派等。

管理过程学派的研究对象是管理的过程和职能。他们认为，管理就是在组织中通过别人或与别人一道完成工作的过程。这个学派实际上出现于 20 世纪 30 年代，穆尼（J・D・Mooney，1884—1957）是其代表人物之一，他的代表作是与赖莱（A・C・Reiley，1869—1947）合作的《工业，前进！——组织原理及其对现代工业的意义》，该书于 1931 年出版，1939 年修订以后改名为《组织原理》。他们试图通过这本书，确定出一些对各种组织都适用的原理，并从历史上天主教会、军队、政府和工商企业的结构来证明这些原则的正确性。

社会系统学派的创始人是自学成才的美国人巴纳德（C・I・Barnard，1886—1961），其代表作是 1938 年出版的《经理人员的职能》一书。在巴纳德看来，组织就是“两个或两个以上的人的有意识协调的活动或效力的系统”，社会中的各种组织都是这样的协作

系统；系统是有级别的，一个企业内部的各个部门是较低级的系统，由许多系统组成的整个社会则是一个较高级的系统。这些作为正式组织的协作系统具有三个基本要素：协作的志愿、共同的目标以及信息的联系。非正式组织也起着重要的作用，它与正式组织互相创造条件，互相影响。组织中经理人员的作用，就是作为协作系统中的相互联系的中心，对于协作进行协调，负责维持组织内外的信息联系，以使组织顺利运转。巴纳德的组织定义中包含"系统"以及系统等级概念，系统要素的协同、人的有意识的有目的的活动以及时间连续性等概念。

由上述可见，在管理领域，从泰罗到巴纳德，系统思想已经日益深入到管理理论之中，已经从不自觉变成为自觉的管理理论基点之一。以后的决策理论学派实际上是从社会系统学派分化出来的，它们成为了以后自觉以系统理论为指导的系统管理学派、社会技术系统学派的先声。管理领域的进展，实际上是20世纪系统思想兴起的一个侧面。

事实上，系统工程的兴起实际上正是跟管理问题密切相联系的。1930年美国无线电公司在发展与研究电视广播时，已经采用了系统方式(System approach)。30年代，美国贝尔电话公司在设计巨大工程时感到固有的传统方法已不能满足要求，提出和使用了系统概念和系统思想、系统方法这类术语。1940年，他们在安排微波通讯网时，进而首创了系统工程学，应用了一套系统分析方法，即按照时间顺序把工作划分为规划、研究、发展和发展期研究以及通用工程等五个阶段，取得了良好的效果。由于第二次世界大战的迫切需要，系统工程在工程管理和军事国防系统中受到了极大的重视，得到了迅速的发展。

系统工程侧重处理战略性的全局性问题，运筹学则侧重处理战术性的具体问题。也正是由于战争的推动，系统工程与运筹学得以紧密地联系在一起并发展起来。在第一次世界大战时期，英国的

兰彻斯特(F·W·Lanchester)首先应用数学方法对于空战进行了分析,建立兰彻斯特方程,论证了集中优势兵力的作战效果。美国的生理学教授希尔(A·V·Hill)研究过高射炮的实效问题,并领导了英国国防部防空试验小组,在第一次世界大战和第二次世界大战中都作出过重要贡献。

在总结第二次世界大战战争期间的研究成果与实践经验的基础上,1946年美国的莫尔斯(P·M·Morse)和基博尔(G·E·Kimball)在内部发表了保密文件,到1950年得以公开出版《运筹学方法》,标志运筹学的产生。1957年古德(H·Goode)与迈克尔(R·E·Machol)出版了《系统工程学》则标志系统工程的建立。目前,运筹学已有许多数学分支,如线性规划、非线性规划、动态规划、对策论、排队论、搜索论、图论、网络理论(网络分析)、优选法、决策论、算法论等等。正是借助这些数学工具,才能对系统进行定量分析,成为现代系统论的重要的数学基础。

二次大战后,这两门学科继续在军事等方面得到广泛的应用。著名的事例中,1957年,美国研制导弹核潜艇的北极星计划,原计划用6年时间完成,由于运用系统工程,结果提前两年完成。在执行这个计划中,又研究出来"计划评审技术"(PERT),实际上也就是一种网络系统分析。美国于20世纪60年代开始的登月阿波罗计划,涉及至少42万人,120所大学实验室和两万多家公司,共有700多万个零件,耗资达300亿美元,运用系统工程和运筹学得以协调如此庞大的科学项目,节约了资金、提高了效率、提前于1969年实现了预期目标。

## 4.3 技术革命:信息和控制

19世纪电力技术的革命,有线电报、电话、电灯等一系列技术发明的涌现,麦克思韦的电磁理论的建立和证实以及由此推动了无线电通讯时代的到来,还有内燃机的实用化引起汽车制造业的

兴起、飞机的试制，促进了新型机械制造业和交通运输业的大发展。

“电通讯”时代的到来，通讯的距离、通讯的速度都发生了根本性变革。创立控制论的维纳就这样写道：“如果十七世纪和十八世纪初叶是钟表时代，十八世纪末叶和十九世纪是蒸汽机时代，那么现在就是通讯和控制的时代。电工学上曾经有过一次分裂，德国人把它叫作强电流技术和弱电流技术之间的分裂，我们知道这就是动力工程学和通讯工程学的划分。正是这个分裂把过去的年代和我们现在生活着的时代区分开来。”[①]无线电通讯、电子技术、计算机技术乃至自动技术等新兴技术的出现，都是这场分裂的产物。

通讯事业的发展，迫使人们加强研究通讯工程技术，并形成普遍性理论去解释和指导通讯工程技术中遇到的问题。

在通讯中，首先要求的是通讯的可靠性，即接受者收到的消息应该就是发送端发出的消息，既不发生失误，也不发生失真。同时，人们还希望通讯的效率越高越好，即使用同样的设备在一定时间里传送的消息越多越好。但是，人们在 20 世纪 20 年代已经发现，可靠和高效实际上是一对矛盾。1924 年，美国人奈奎斯特（H·Nyquist）和德国人开夫曼尔(Kupfmuller)几乎同时独立发现，要以一定的速率传递电报信号，就要求有一定的频带宽度。这说明传送消息的速度与设备条件有关，前者受到后者的制约。1928 年，美国物理学家哈特莱(R·V·L·Hartley)证明，传送一定的信息，要有一定的“带宽×时间”的积。他明确指出，如果有 S 个字母，信息量 H 可以定义为字母数 S 的对数。1936 年，阿姆斯特朗(F·H·Armstrong)提出可用增大传输带宽来抑制噪声和干扰。1945 年波特(Potter）发表“声音的可视图形”一文，他与人合作又于 1947 年发表《可视语言》一书，它们关于声音的图谱中清楚地表明，采用

① 维纳著. 郝季仁译. 控制论. 北京：科学出版社，1963 年 2 版，39 页

窄带滤波器，可以在牺牲时间分辨率的前提下提高频率分解率，或者采用宽带滤波器，可以获得相反的效果，但是不可能同时提高时间和频率的分解率。这些工作已经接触到通信中提高可靠性和提高效率这个中心问题，迫切需要对于通信的基本问题加以澄清，随后的第二次大战的需要，更使得这个问题的解决显得非常迫切。

正是在这样的科学基础上，由于时代要求的推动，1948 年，在美国贝尔公司工作电话研究所的仙农(C・E・Shannon，1916—)发表了"通讯的数学理论"一文，宣告了信息论的诞生。

仙农在 30 年代做的博士论文，其题目是"布尔代数在逻辑开关理论中的应用"。他特别注重了计算机的数字通讯工作，于 1940 年开始从事信息论的研究。以往的通讯研究都是把消息看作一种能展开成傅立叶积分的事件函数，并没有找到通讯工程和电力工程的本质区别。仙农却把消息看作随机序列，从这个新观点来考察通信过程，抓住了通信问题的本质，为通信问题建立了一个适当的模型，使问题得到了突破。按照仙农，通讯的基本问题就是精确地或近似地在一点复现另一点新选择的消息；通信的基本内容就是研究信源、信宿、信道机编码问题。仙农对于信息论的主要贡献可以归纳为如下 5 点：

1. 第一次从理论上阐明了通讯的基本问题，提出了通讯系统的一般模型。

2. 提出了度量信息量的数学公式，即著名的仙农信息熵公式：$H=-K\sum P(i)\log P(i)$。

3. 初步解决了如何从信息接受端(信宿)提取由信息源发来的消息的技术性问题。

4. 提出了如何充分利用信道的信息容量，如何在有限的信道中以最大的速率传递最大的信息量的基本途径。

5. 初步解决了如何编、译码才能使信源的消息被充分表达、

信道的容量被充分利用的问题。

控制离不开通信。控制论的创立者维纳也对信息论有独到的贡献。维纳从控制和通信的角度进行长期的研究，提出了著名的维纳滤波理论、信号预测的接受理论。他从统计的观点出发，将消息看作可测事件的时间序列，提出了将消息定量化的原则和方法。他把信息作为处理控制和通讯系统的基本概念和方法而运用于许多领域，为信息的应用开辟了广阔的前景。

20 世纪 50 年代，信息论迅速向各个学科渗透。1951 年，美国无线电工程学会承认了这门新学科。旅美法国物理学家布里渊(L · Brillouin)把信息熵与热力学熵直接联系起来，提出广义熵增原理、信息的负熵原理，把信息论推进到物理学领域，使之有了更大的一般性。

控制论孕育在自动控制、电子技术、无线电通讯、神经生理学、生物学、心理学、数理逻辑、计算机技术、统计力学等多种学科的相互渗透中。它的出现，与近代机械制造业的发展、自动机的研制、科学思想的变革相联系，特别还受到第二次世界大战需求的直接推动。

维纳在 1919 年开始研究勒贝格积分时已经涉及到控制论的思想。他在研究随机问题时，注意到牛顿以来科学思想和科学方法论的发展趋势，注意到统计和进化的思想正在渗透到科学的各部门之中。在他看来，自动控制系统的特点是要根据周围环境的某些变化来决定和调整自己的运动，这就要突破牛顿力学传统方法的框架。20 年代到 30 年代，他在麻省理工学院期间，接触到许多工程学问题，尤其是与布希(V · Bush )合作写了关于电工计算方法的书，一起研究运算微积问题，这使他做出了用光学方法获得傅立叶换算器的设计，提出了用数字计算机代替模拟计算机的设想，并在 1940 年提出了数字计算机的 5 点建议以及实施计划。后来表明，他的设计思想是先进的、可行的，可惜当时布希认为这是将来

考虑的事而未付诸实施。

维纳在1935年8月—1936年6月来华，在清华大学电机系和数学系任教授，他与李郁荣合作共同研究电话理论和改善滤波器的设计问题。他后来写道，1935年的中国之行，是他作为一个数学家和控制论专家的分界线，是创立控制论的起点。

第二次世界大战期间，维纳参加了火炮自动控制的研制工作，这是继研究计算机代替人进行复杂计算以后，又一项用于特殊功能的机械电学系统的研制工作，对于控制论的提出具有决定性意义。他研究了随机过程的预测，滤波理论的自动火炮上的应用，特别是他把火炮自动打飞机的动作与人狩猎的行为作了类比，并发现了负反馈对于控制的重要作用。他与工程师毕格罗(J. Biglow)、神经生理学家罗森勃吕特(A. Rosenblueth，1900—  )合作，发现目的性行为可以用反馈来解释，从而突破了生命与非生命的界限，把目的性行为这个生物所特有的概念赋予机器。他们于1943年发表了著名的"行为、目的和目的论"一文，初步阐述了控制论的基本思想。

随后，1943年冬至1944年春，由维纳与冯·诺意曼(J. L. von Neumann，1903—1957)共同发起召开了多学科专家参加的方法论讨论会。1946年春，在纽约又召开了专门讨论反馈问题的讨论班，并变成了一个经常性讨论班，参加讨论班的人员的范围更加广泛。通过这些讨论班，形成了共同关心的领域——通讯和控制，特别是对于信息和反馈给予了重视。维纳总结这些思想，于1948年出版了《控制论》一书，该书的副标题叫做"或关于在机器和生物的通讯和控制的科学"，标志了控制论作为一门学科诞生。维纳抓住通讯的控制的最本质的东西——信息，从更广意义上来理解信息，从而统一地处理通讯和控制问题。反馈在控制论中是一个最基本概念，它对于系统的稳定性、目的性以至学习能力都是至关重要的。

控制论在20世纪50年代得到了大的发展，生物学是取得成功的领域之一，创立了生物控制论。艾什比(W.R.Ashby)的《大脑设计》可以说是这一阶段的代表作，他还提出了超稳定系统概念，特别强调"黑箱方法"。他提出了必要"变异度"定理，加深了人们对于通讯和控制共性的认识。

20世纪50年代控制论十分活跃的另一分支是工程控制论，它是在控制论的基本思想的基础上，结合反馈放大器理论和伺服机器理论产生的。钱学森1954年出版的《工程控制论》是这个学科的奠基性著作。50年代的工程控制论以自动调节为基础，主要处理单输入单输出的线性自动调节系统，采用建立在传递函数或频率特性上的动态系统分析和综合方法，成为"经典控制论"。60年代以后由于导弹、航天技术等的需要，控制论逐步发展向多输入多输出的多变量系统发展，使用状态空间方法和微分方法，以计算机作为技术手段，并发展了最优控制理论，形成了"现代控制理论"。70年代以来，控制论向广度发展，目标是大系统和复杂系统的控制；向深度发展，目标是智能控制。

在贝塔朗非看来，从研制导弹、自动化、计算技术方面，并受维纳著作所推动的控制论方面，也是系统研究的发展途径。虽然控制论的出发点是技术而不是科学更不是生物学，其基本模式是反馈而不是动态系统相互作用，但控制论和一般系统论对于具有目的性行为的组织问题所表现的兴趣是一致的。控制论同样反对如下的机械论观点：宇宙是由无数粒子的偶然活动产生的。两者独立发展起来，但都力求寻找新的途径、新的综合的概念和方法，以研究机体和人构成的巨大整体。

## 4.4 科学前沿：自组织和复杂性

正当一般系统论、信息论和控制论等关于系统的理论取得广泛的传播和普及，日益深入人们生活的各个方面的时候，20世纪

60 年代末又以耗散结构理论的诞生为先导，在 70 年代相继诞生了协同学、超循环理论、突变论、混沌学和分形学等一系列关于系统的新学科、新理论。人们对于客观世界的复杂性、组织性和整体性的认识又发展到了一个新的阶段。如果说一般系统论、控制论和信息论还主要是建立在平衡系统的概念和理论基础之上，以既成系统为研究对象，那么，耗散结构理论等一系列关于系统的理论则将人们对于系统的认识推进到以非平衡系统理论作为自己的理论和概念基础之上，以非线性系统的自组织演化为自己的研究对象。

19 世纪中叶以来，一系列热力学定律建立起来。进而经过克劳修斯、麦克思韦、波耳兹曼和吉布斯等人的工作，又建立起来了统计物理学。这里已经遇上了与牛顿经典科学的严重矛盾。但是，20 世纪初的物理学革命的惊雷却把人们的兴趣吸引到了量子论和相对论的新天地，热力学的研究一度似乎不那么引人注目了。直到 1931 年挪威物理化学家昂萨格(L. Onsager 1903—1976)建立起一条线性非平衡态热力学中的基本定律——“昂萨格倒易关系”以后，对于近平衡线性区域的热力学研究才重新活跃起来。比利时物理化学家普里戈金在这一领域作出了重要贡献，他在 1945 年建立了线性非平衡热力学的最小熵产生原理。它与昂萨格倒易关系一起，使得线性非平衡热力学大厦在与平衡热力学类似的普遍程度下建立起来。

最小熵原理的成功，促使普里戈金(I • Prigogine，1917—)试图将它用到远离平衡的非线性区域。这一尝试，使得他和他的学派为此苦苦奋斗 20 来年，在 20 世纪初发现的贝纳德(Benard)对流激起了它们的灵感，20 世纪 50 年代贝洛索夫(Белусов )和扎鲍廷斯基(Жаботинский)等人所作的化学振荡实验推动了他们的理论研究，最后终于得到了“耗散结构”概念，并于 1967 年在一次国际学术会议上公布于世。耗散结构理论指出，一个远离平衡的开放系

统(不论其是力学的、物理的、化学的、生物的系统,还是社会的、经济的系统),通过不断地与外界交换物质和能量,在外界条件变化达到一定阈值时,就可能从原先的无序状态,转变为一种在时空上或功能上有序的状态。耗散结构理论的创立,使我们有可能研究非线性的系统在远离平衡态时所出现的新的有序现象和系统的演化问题。耗散结构论揭示出,一个系统要能够自发组织起来,形成耗散结构,必须满足:1. 系统开放,只有充分开放才可能驱使系统远离平衡态;2. 系统远离平衡,处在平衡态和近平衡态都不会有系统向有序发展;3. 系统内的自催化的非线性相互作用,使得从平衡系统观点往往看作破坏性因素的正反馈在这里成为系统演化的建设性因素。4. 涨落作用,是驱使系统由原来的稳定分支演化到耗散结构分支的原初推动力。

由于耗散结构理论的建立,"非平衡不可逆性是组织之源、有序之源"被揭示出来了。克劳修斯退化论和达尔文进化论的矛盾,也就在热力学第二定律所揭示的不可逆框架中得到了说明。过去被看作对整体行为偏差的涨落干扰在不稳定性中可以成为建设性因素,普里戈金学派的又一个重要结论是"通过涨落达到有序"。这是全新的关于系统演化的自然科学新成果。它与 20 世纪 60 年代以来整体观测宇宙有其演化历史的思想,与微观世界基本粒子也是处在生生不息的转化之中的思想,形成了在我们日常生活的尺度中的响应,就把我们关于自然界演化发展的认识推向了一个新的阶段。西方著名未来学家阿尔文·托夫勒就认为,普里戈金的工作"是改变科学本身的一个杠杆,是迫使我们重新考虑科学的目标、方法、认识论、世界观的一个杠杆。……当今科学的历史性转折的一个标志,一个任何有识之士都不能忽略的标志。"[①]

---

① 托夫勒的"序",见:普里戈金、斯唐热著.曾庆宏、沈小峰译.从混沌到有序.上海:上海译文出版社,1987 年,7

接着，西德理论物理学家哈肯(H·Haken,1927—)创立了协同学。他于1971年发表文章初步阐述了协同学的基本思想和概念，1972年举行了有关协同学的国际学术会议，随后几年中协同学取得了迅速进展，在1977年出版的《协同学导论》一书中全面勾划了协同学的理论框架。协同学在把握激光一类非平衡相变内在机制的基础上，同时吸取了耗散结构理论和突变理论的合理内核，在开拓平衡相变理论的前提下，创造了一套处理各种非平衡相变的统一方案，统一解决了系统从无序转变为有序的过程。协同学的两大基本原理中，役使原理是微观方法论的理论依据，最大熵原理是宏观方法的理论依据。协同学认为，系统的性质的改变是由于系统中要素——子系统之间的相互作用所至。任何系统的子系统都有两种运动趋向，一种是自发地倾向无规无序的运动，这是系统瓦解走向无序的重要原因；另一种是子系统之间的关联引起的协调、合作运动，这是系统自发走向有序的重要原因；系统是自发地发生从无序到有序还是从有序到无序，就取决于其中哪一种运动趋势占据主导地位。协同学采用相变理论中的序参量概念来描述一个系统的宏观有序的程度，用序参量来刻划系统从无序到有序的转变，从而大大加深了我们对于系统演化的内部机制的认识。

西德的生物物理学家艾根(M·Eigen,1927—)则从对于生物大分子的研究角度，吸收非平衡非线性热力学的成果，建立起来超循环理论。他在1970年发表了关于超循环理论的演讲，进而于1972年在西德的《自然杂志》上发表“物质的自组织和生物大分子的进化”一文，正式建立起超循环理论。后来，他与理论化学家舒斯特尔(P·Schuster)合作，于1977—1978年再度在《自然杂志》上发表三篇系列论文，系统地阐述了超循环理论，这三篇系列论文随后于1979年整理出版了《超循环：一个自然的自组织原理》。针对20世纪以来人们对于有关生命起源的化学进化和生物学进化的认识有了长足进展，但是关于生命究竟是怎样起源的则知之甚少，

超循环理论提出在关于生命起源的化学进化和生物学进化之间，还有一个生物大分子自组织进化阶段，随机无序的大分子通过采取循环形式的自组织，发展起来有序的组织并向更高的组织和复杂性进化，从而最终导致了生命的起源。按照超循环理论，相互作用、因果转化构成循环，这成为超循环理论的一个基本出发点，也是我们理解超循环基本思想的一个关键。超循环理论结合化学、生物学等领域的成果，考察了自然界的种种循环现象，从而提出了循环等级学说，揭示了系统的演化发展采取了循环发展形式，从低级循环到高级循环，不同的循环层次与一定的发展水平相联系。

突变理论来源于法国数学家托姆(R・Thom，1923—)在拓朴学和分析学中关于结构稳定性研究，以及托姆与生物学家们关于生物形态发生学的探讨。托姆关于突变理论的第一篇论文是1968年发表的“生物学中的拓朴模型”，他特别受到英国数学家齐曼(Zeeman)1961年发表的“头脑与视觉认识的拓朴学”的启发。同年，托姆完成了《结构稳定性与形态发生学》一书的手稿(该书由于出版耽误迟到1972年才问世)，系统阐述了他的突变论。由于齐曼对于突变论的推举，并把突变论划入系统理论范畴，使得突变论迅速传播开来，在20世纪70年代形成了一股“突变热”。有人将其称为“自牛顿发明微积分以来数学史上最大的成就”，也有人将其称为“皇帝的新装”。无论这些争论如何，突变论的确为人们带来了新思想、新观点，从硬科学领域到软科学领域，都得到了广泛的应用。突变论被称为说明参数的连续改变怎样引起了不连续现象的一种理论。托姆最初提出了七种初等突变，后来人们又发展起来适用于更一般系统的非初等突变。虽然突变论本身不是系统自组织理论，它实际上是研究静态分支点问题，即平衡点之间的相互转换问题，但是，它与系统演化的相变即有序与无序的转化密切联系在一起，揭示原因连续的作用有可能导致结果的突然变化，从而加深了我们对于系统的有序与无序的转化的方式和途径的多样性的

理解。

混沌学甚至被它的拥护者称为20世纪自然科学有资格载入史册的三件大事之一，是本世纪的“第三次科学革命”。这里所谓的三件大事、三次科学革命即相对论、量子力学和混沌学以及它们所代表的革命。混沌是非线性耗散系统中存在的一种普遍现象，它的研究已经引起众多领域学者的重视。混沌是一个古老的术语，各民族几乎都有过混沌创世的信念，这种古老的混沌指的是一种无序无规、混乱难分的原初状态。实际上，传统的平衡态热力学中的混沌也是这样一种混沌。20世纪70年代以来对于非平衡非线性系统混沌的研究发现，非平衡混沌与平衡混沌有原则的区别，非平衡混沌可以看作非平衡非线性系统的演化归宿。混沌现象可以出现在确定性的方程之中，所以又被看作是确定性中的随机性；它对于初值条件具有高度敏感性，差之毫厘则失之千里。按照现在的认识，非平衡混沌具有奇怪吸引子，奇怪吸引子具有独特的性质。用相空间来描述奇怪吸引子时会发现，尽管系统从任一初始状态出发都会演化到这样的吸引子，但是，混沌运动轨线进入吸引子以后，两条相距非常近的轨线将发生指数式分离，两个状态点又会迅速分开。这就是说，从整体上看系统具有稳定性，系统整体演化具有规律性，而从微观上看系统又是不稳定的，系统没有具体的轨迹可寻。使我们对于无序和有序的转化、确定性和随机性的统一、稳定性和不稳定性的结合、自组织过程的复杂性有了更深刻的认识。

分形学是美藉法国数学家曼德布罗特(B·B·Mandelbrort)于1973年正式提出来的。他的思想早在60年代中就已萌发，1967年他已经发表了“英国的海岸线有多长”一文。1977年他发表奠基性著作《分形：形式、机遇和维数》，1982年他发表的《自然界的分形几何学》一书，比较系统阐述了这一学科。分形学的建立，把人们的注意力引向了去研究那些不能用通常的长度、面积、体积来表示

的非规则几何体的性质。分形几何学，看来比通常研究规则几何图形更接近实际的客观世界，自然界的许多复杂的物理现象都具有分形结构。分形体的整体与部分具有某种自相似的层次结构，在理想状态下甚至是无穷多层次的自相似性。前面提及的奇怪吸引子，也具有这样的自相似嵌套结构，具有分数维即分形结构。分形学的研究揭示出系统部分和整体的相似性，并试图找到介于有序—无序、宏观—微观、整体—部分之间的新秩序，从而深化了我们对于系统的这些关系的理解，以及对于物质世界的多样性的统一的认识。

总之，20 世纪 60 年代末耗散结构理论的建立，以演化系统为研究对象的非平衡非线性热力学登上了科学舞台，70 年代相继诞生的其余几个关于系统演化的理论，使我们在对于既成系统认识的基础上，进一步从认识系统自组织演化的前提条件入手，深入去认识系统演化的动力机制，偶然因素在系统演化中的作用，并且从科学上对系统演化的循环发展形式给予统一的描述，还深刻地揭示出系统演化多样性以及系统组织的相似性、系统的优化演化、系统演化从混沌到有序再从有序到混沌的发展全过程。相应地，这样一来我们就有可能在对于系统各个侧面的认识进展的基础上，对于这样综合性的理论进行再综合，形成系统的自然图景、系统的社会图景，概括出关于系统的极为一般的原理和规律，建立起系统科学通向哲学的桥梁——系统论。

## 4.5 新的综合：从系统科学到系统论

20 世纪 50 年代中叶，工程控制论奠基人钱学森把控制论的先进科学技术思想和方法应用于我国国防科技的研究，并力图把它应用推广到经济领域，当时苏联亦改变了对待控制论的错误看法，我国自然辩证法理论界开始积极介绍控制论的学术思想。1957 年第 6 期《学习译丛》上发表了龚育之根据 1955 年英文版翻译的

《控制论》的导言全文。1958年中国科学院戴汝为等翻译出版了钱学森的《工程控制论》也受到自然辩证法界的重视。1962年，由龚育之、罗劲柏、侯德彭、陈步等以郝季仁为名翻译的维纳的《控制论》一书由科学出版社出版，1963年又根据该书的1961年修订版增添了两章，出了第二版。1965年4月，上海市科学技术编译馆收集出版了《信息论理论基础》论文集，其中有1948年仙农和魏沃尔(W. Weaver)合写的著名的"通讯的数学理论"——信息论。同年，商务印书馆出版了《控制论哲学问题译文集》第一辑。这些出版物以及其他一些出版物，促进了与一般系统论密切相关的控制论、信息论等新学科在国内的初步传播。

20世纪70年代，一般系统论以一种时髦的科学方法论活跃在国际学术论坛，以耗散结构理论开创的系统自组织研究迅速发展。

70年代末，我国王兴成等开始翻译介绍一般系统论。1978年4月《国外社会科学》译载了贝塔朗菲的"普通系统论的历史与现状"一文。本书作者之一，作为1978年初组建的全国自然辩证法讲义编写组成员，从这组学科中总结抽象出四种普遍适用的科学方法(系统方法、信息方法、反馈方法、功能模拟方法)，把它们写进了1979年7月由人民教育出版社出版的我国的第一部《自然辩证法讲义》作为全国理工农医硕士研究生教材。

1978年以来，普里戈金为首的非平衡统计物理学派与我国科学界人士建立了密切的联系。1978年6月，钱三强率领的中国科学院代表团访问比利时等西欧各国，我国科学界开始与普里戈金学派有了直接接触。同年11月，郝柏林等首次应邀参加了第17届索尔维国际物理会议，进一步开阔了我国科学界的视野。1978年8月在庐山召开的中国物理学会1978年年会统计物理分会上，方福康、刘若庄等人对耗散结构理论及其有关数学、化学问题作了比较系统的介绍。1979年8月，在西安召开的第一届全国非平衡统计

物理学术会议(耗散结构理论专题)上,我国学者报告了他们的研究成果,普里戈金应邀来华讲学参加了该会议并作了学术报告。普里戈金这次访华时于8月22日在北京作的"从存在到演化"演讲,由杜婵英整理、郝柏林校定以后发表于《自然杂志》1980年2期,该文成为一篇为国内多个领域学者广为引用的著名文献。《自然辩证法通讯》1980年2期发表了湛垦华、沈小峰合作的"耗散结构理论与自然辩证法"。

特别值得指出的是,种种关于系统的理论受到工程控制论奠基人钱学森以及许国志等我国科学家的重视,就在他们大力推广系统工程的同时,钱学森从一般系统论研究深入到普里戈金的耗散结构理论和哈肯的协同学、艾根的超循环理论以及费根鲍姆常数和混沌学,进而提出了系统科学的体系结构设想。

1979年11月10日,钱学森在《光明日报》上发表了"大力发展系统工程、尽早建立系统科学体系"一文,把系统论、系统工程的研究提高到一个新的阶段,提出了建立系统科学及其基础科学系统学的初步设想。他写道:"我们应该回到系统这一根本概念,采用'系统科学'这个词。系统科学是并列于自然科学和社会科学的,是基础科学。""建立系统科学这个概念以后,我们就有了一个学科的体系,可以从整个学科体系的结构来考虑问题……这样,从系统科学这一类研究系统的基础科学出发,结合其他基础科学,我们组成一系列研究系统共性问题的技术科学;也许这些学问可以统称为系统学。……与系统科学有关的还有各门系统工程特别联系着的技术科学学科和社会科学学科。直接搞改造客观世界的学问就是各门系统工程了。"①

接着,他针对耗散结构理论等系统自组织理论的发展,又于《自然杂志》1981年1期上发表"系统科学、思维科学与人体科学"

---

① 钱学森等著.论系统工程.长沙:湖南科学技术出版社,1982年,186

一文，认为我们应该从系统工程的范围中走出来，在更大的视野中来加以考察；该文吸收包括一般系统论、耗散结构理论、协同学等学说的思想，初步论述了它们对于建立系统科学的基础科学系统学的意义。钱学森指出："从上节和本节的阐述，可以看到系统理论的研究是多么广阔的一条战线。一方面是各种系统工程的实践带来了运筹学，以及控制论，特别是巨系统理论的发展。另一方面是理论生物学的研究，带出了一般系统论；同时推动了非平衡态热力学的研究，产生了开放系统远离热力学平衡的耗散结构概念，作为有序性、自组织的理论。而近年来哈肯综合了现代科学的多方面成就，建立了比较深刻的系统理论。打破了热力学封闭或开放的隔阂，甩开了经典热力学概念的牵制。当然布鲁塞尔学派、哈肯学派以及一般系统论都还在进一步发展，而且我们也远不能把有关系统理论的研究都归结为这几方面，还有我没有讲到的研究工作。把所有这些成果同运筹学、控制论结合起来，建立一门系统的基础理论科学——'系统学'，看来是不会太远了，而系统科学这一科学技术部门的体系可以建立起来了。"

钱学森进一步指出："系统学的建立也将向马克思主义哲学提供深化和发展的素材。……当然由此深化和发展了的哲学又反过来指导科学技术的研究。而且不将只是对系统学本身，也对整个系统科学有意义，并且对其他科学、其他技术也都有深刻的意义。从马克思主义哲学到系统学的桥梁，可以称为'系统观'或'系统论'，它将成为辩证唯物主义的一个组成部分。"[①]

钱学森又在《系统工程理论与实践》1981 年 1 期上发表"再谈系统科学的体系"一文，进一步补充了他关于弗里德里希有关工作和艾根关于超循环自组织理论的工作对于建立系统科学以及系统科学的基础科学——系统学的意义，他说："Frohlich 的工作、

---

① 钱学森等著. 论系统工程. 长沙：湖南科学技术出版社，1982 年，245—246

Eigen 的工作以及还有其他工作都和 von. Bertanlanffy, Prigogine 和 Haken 的工作一样，都是自然科学和数学科学的研究为系统科学的基础科学——系统学，提供了重要的构筑材料。"他认为，系统科学的体系可以分"工程技术、技术科学、基础科学和哲学四个台阶。"他再一次强调："系统学的建立也会明确系统概念，即系统观。……系统观将充实科学技术的方法论，并为马克思主义哲学的深化和发展提供素材。这也就是说人的社会实践汇总、提炼到系统科学的基础科学——系统学，又从系统学通过一座桥梁——系统观，达到人类知识的最高概括——马克思主义哲学。"①

钱学森站在时代的高度提出的"系统科学"这个科学技术的新体系，是对学术界的一个重要贡献，对于我国系统科学的研究以及应用起到了重要的推动作用，包括对于系统论的研究起到了重要的推动作用。

20 世纪 80 年代以来，我国的系统论研究进入一个蓬勃发展的新阶段。一系列关于系统论的学术讨论会的举行，一大批重要著作以及译著的出版，一大批专业杂志的问世，是这种蓬勃兴旺的标志。

在学术会议中，我们这里要提及由清华大学、大连工学院、西安交通大学、华中理工学院发起的每年轮流举行的学术讨论会，可以从一个侧面反映国内的有关研究的进展。从 1982 年 7 月以来，该讨论会已经举行了 10 届。第 1 届是由清华大学等单位主持的"系统论、信息论、控制论中的科学方法与哲学问题学术研讨会"，会议出版了论文集《系统理论中的科学方法与哲学问题》。第 2 届是 1983 年 7 月由大连工学院主持的"全国系统理论中的科学方法与哲学问题研讨会"，1984 年，西安交通大学主持召开了第 3 届研讨会，会议主题是系统科学辩证法与科技发展战略，会议出版论

① 钱学森等著. 论系统工程. 长沙：湖南科学技术出版社，1982 年，266—267

文集《系统思想与科技发展战略研究》。1985年，中国自然辩证法研究会成立了系统科学哲学委员会，并领导了以后的会议。华中理工大学主持了第4次系统科学哲学问题与科学方法论会议。1986年，清华大学在北京主持召开了第5次全国性学术会议，钱学森推荐于景元、郑应平到会介绍他亲自主持的系统学讨论班的最新研究成果。会议出版了论文集《系统科学及其哲学思考》。1988年在大连由大连工学院主持召开了第6次讨论会，乌杰同志在会上发表了他的"系统辩证论"的论文，本书作者之一发表了关于广义系统论的论文。1989年8月包头市技术经济社会发展研究中心主持召开了第7次系统理论与应用研究会议，会议出版论文集《系统理论与区域规划》。1990年7月，福建省科协自然辩证法研究会主持召开了第8次系统理论与应用研究会议，会议成果见《系统科学与区域战略规划》。1991年5月，西安交通大学主持召开了第9次系统理论学术研讨会。1992年10月在山西太原，山西大学受中国自然辩证法研究会委托，乌杰主持召开了第10次系统科学哲学与方法论的研讨会，他发表了"系统辩证论纲要"，阐述了他的专著《系统辩证论》的基本观点，会后创立《系统辩证学学报》并分期发表了大会主要论文。

在上述的第1次会议上，钱学森在上千人参加的开幕式上发表了长篇重要报告——"系统思想、系统科学和系统论"。他系统地阐明了系统思想从古到今的由来与发展，回顾了他是怎样从系统工程、运筹学的研究，找到了贝塔朗菲的一般系统论、普里戈金的耗散结构理论、哈肯的协同学、艾根的超循环理论和费根鲍姆常数与混沌学，进而提出建立系统科学理论体系的设想。他系统地论证了"三论归一"，即信息论、控制论和系统论的共同基础就是系统论，再一次明确提出了系统论是系统科学到马克思主义哲学的桥梁，这里所说的系统论已不是贝塔朗菲的"一般系统论"，比一般系统论要深刻得多。他还提出运用系统论来建立精神财富的体系，发

表了现代科学技术体系结构的五个层次、八大科学和八大桥梁的新设想,认为马克思主义哲学也有体系结构,也是一个系统。他的报告为我国学术界研究系统论、系统科学中的科学方法论和哲学问题指明了正确的方向,使到会者茅塞顿开,受益无穷。我们进行系统论研究,是响应钱学森建立系统论号召的一个产物。

# 第二篇　辩证系统观——从系统观点看世界

辩证系统观是关于自然系统的存在和演化的一般图景，是从辩证的、系统的角度对于自然界的总的看法。

辩证系统观认为，包括人工自然界在内，整个自然界是物质的，它的结构层次是无限的；自然界是以系统的形式而存在的；物质是运动的，运动在量上和质上是不灭的，时间和空间是运动着的物质系统的存在形式；物质在时空中的运动是有规律的。

---

由于这三大发现和自然科学的其他巨大进步，我们现在不仅能够指出自然界的各个领域内的过程之间的联系，而且总的说来也能指出各个领域之间的联系了，这样，我们就能够依靠经验自然科学本身提供的事实，以近乎系统的形式描绘出一幅自然界联系的清晰图画。

恩格斯　《路德维希·费尔巴哈和德国古典哲学的终结》

## 5　宇宙系统观

100 多年以前，辩证自然观以系统的观点、系统演化的观点看

世界，把我们所面对的自然界看作一个“过程的集合体”，并大致勾划了这样一幅系统演化的图景，宣告了自然观发展的新阶段的到来和把自然界看作永恒不变的形而上学自然观的衰落。20世纪科学技术的全面发展及其所取得的一系列新成就，已经证实和丰富并在继续证实和丰富着辩证自然观、批判形而上学自然观，进一步揭示了一个以系统方式存在和演化的辩证自然观。

这里，我们首先要讨论一下系统演化的宇宙图景，探讨这个宇宙系统观。所谓宇宙系统观，就是从系统角度关于宇宙演化的总的观点，认为我们的观测宇宙是一个具有众多层次和类型的有机整体，是一个有上升也有下降的处于不断演化之中的开放系统，是客观世界的生生不息的物质循环。

## 5.1 观测宇宙：过程的集合体

20世纪自然科学最惊人的成就之一，就是从实证的意义上通过观测表明，我们所面对的宇宙是一个处于演化之中的巨大系统。

20世纪初爱因斯坦建立起相对论，是世纪之交物理学革命的最重大成果之一。爱因斯坦(A. Einstein，1879—1955)在1915年建立起广义相对论以后，随后他就尝试把宇宙看作一个整体系统、运用广义相对论来考察宇宙结构问题。他于1917年发表的“对广义相对论的宇宙考察”，给出了著名的有限无边静态宇宙模型，开创了现代宇宙学。

按照爱因斯坦的广义相对论，不可能得出一个静态的宇宙模型。其实，连历史上的牛顿力学也不会得出静态的宇宙模型，而只会导致“引力佯谬”。但是，静态的宇宙观是如此根深蒂固，在这样的静态宇宙观念的影响下，爱因斯坦一直在寻求广义相对论的静态宇宙学解。他认为宇宙没有经历过任何大尺度的变化，所以当他得不出静态解时，他不惜破坏原始方程的简单性，将宇宙学项引入他的方程式中，从而得出一个静态解，提出一种整体上没有变化的

宇宙系统。

不久，苏联数学家弗里德曼（A. A. фридман，1888—1925）在1922年至1924年间重解爱因斯坦方程，证明宇宙中的物质不可能处于静止状态，即宇宙不可能静止不动，必须是自发膨胀或收缩的，只可能是一个动态的演化的宇宙。1927年，比利时天文学家勒梅里（G·Lemaitre）提出了大尺度宇宙空间随时间而膨胀的概念。1929年美国天文学家哈勃（E. P. Hubble，1889—1953）在前人工作的基础上，得出一个引人注目的发现：河外星系的红移与它们同我们的距离成正比。这就是说，星系都在远离我们而去，星系离我们越远，远离我们而去的速度越大。于是，哈勃的发现就接触到了演化宇宙系统的真面貌。

1932年，勒梅里进一步提出一个演化宇宙系统模型。这个模型认为宇宙的全部物质最初聚集于一个"原初原子"之中，其密度很大、温度极高、很不稳定，在发生爆炸以后物质向四面八方散开，导致了宇宙膨胀。1948年，伽莫夫（G·Gamow，1904—1968）进一步发展起来大爆炸宇宙论，提出大爆炸宇宙模型。这个模型认为，我们的宇宙系统曾经达到过一个最大压缩状态，全部物质的密度就犹如束缚在原子核之中的基本粒子密度一样大；这个宇宙通过大爆炸开始膨胀，由一个近乎于全由热辐射充满的宇宙，逐渐演化成我们今天观察到的宇宙。大爆炸宇宙论还预言了，由于大爆炸有残余辐射遗留下来，大约只有绝对温度几度。1964年，由于彭齐亚斯（A·A·Penzias）和威尔逊（K·G·Wilson）意外发现了2.7K（绝对温度）宇宙微波背景辐射，就为大爆炸宇宙论提供了有利的支持。从而使得大爆炸宇宙论迅速在众多竞争的宇宙假说中取得了主导地位。

值得指出的是，对于大爆炸宇宙论的立论基础仍然是存在争议的。大爆炸宇宙论的立论基础是：星系的光谱线红移代表星系离我们远去的退行。但是，支持红移由退行速度引起的观点，以及"非

速度红移"的观点，都无法将对方的观测事实纳入自己的解释之中。

大爆炸宇宙论遇到的主要困难有三个，一是均匀性问题，即一方面根据观测事实推论观测宇宙空间分布上是均匀的，而大爆炸宇宙论计算结果却只有几度范围内才是均匀的。二是平坦性、平直性问题，即大爆炸宇宙论的宇宙模型是非平直的，而观测证据却表明观测宇宙是非常接近平直的。三是磁单极子问题，即理论上表明几乎必然存在磁单极子，而所有的实验结果都表明磁单极子实际上是不存在的或几乎不存在的。

为了寻求解决上述困难问题的途径，导致了暴胀宇宙论的提出。20 世纪 80 年代提出的暴胀宇宙论中，有较大影响的是古斯(A·Guth)提出的(老)暴胀宇宙论，稍后由林德(A·Linde)等提出的新的暴胀宇宙论，以及林德在后来在 1983 年又提出的第三个混沌暴胀宇宙论。人们将大统一理论作为暴胀宇宙论的基础，又将超对称理论引入暴胀宇宙论，于是，大爆炸宇宙论与暴胀宇宙论一起，就形成了一个比较合理的宇宙起源图景。但是，人们继续追问，在暴胀宇宙论起作用之前，宇宙的起源又是一个什么状态呢?这个问题又将宇宙的起源问题的研究向前推进了，即推进到所谓的宇宙极早期——宇宙创生期或普朗克时代。这样一来，就有了如下的宇宙起源和演化的四个阶段。[①]

1. 宇宙创生期。相应的宇宙年龄为 $10^{-44}$秒，这是实时空的形成阶段，描述这一阶段的假说有霍金(S·W·Hawking)的量子引力理论，还有时空子假说以及八维时空假说等等。

2. 宇宙极早期。相应的宇宙年龄约为 $10^{-36}$秒，这一过程发生大统一相变，使得宇宙按指数规律膨胀，即发生宇宙的暴涨。暴涨

① 吴延涪．新自然史：自组织理论与自然系统的演化．北京：化学工业出版社，1993 年，131

结束后，宇宙间的不对称开始形成，同时产生了大量的夸克、轻子等基本粒子。

3. 宇宙早期。宇宙年龄大约为 $10^{-2}$秒左右，这是宇宙间各种轻元素形成时期，所以也称为核合成时期。

4. 宇宙近期。当宇宙年龄为 10 万年时，宇宙温度已经下降到 4000K 左右，宇宙变成透明的。在这以后，宇宙就从均匀的状态演化为具有各种结构的状态。各种尺度的星体及其体系如星系、星系团、恒星等就是在这一时期中逐渐形成的。经过大约 200 亿年到现在，宇宙的温度已经下降到约 3K(绝对温度)。

形形色色的现代宇宙学模型还很多，各个学说之间的争论仍然是很激烈的，到目前为止，没有一种模型是不曾遇到困难的，它们都对一部分现象不能作出满意的解释，但是种种模型基本上都是把观测宇宙看作一个系统整体，从而描述其整体运动规律。

总之，现代宇宙学事实上是把整体观测宇宙作为一个演化系统即过程集合体来进行研究的。

## 5.2 层次结构：整体演化的分化

我们所面对的宇宙，千姿百态、千变万化，同时又表现为一个统一和谐、结构有序的整体。早在 100 多年以前，恩格斯就指出："我们所面对着的整个自然界形成一个体系，即各种物体相互联系的总体，而我们在这里所说的物体，是指所有的物质存在，从星球到原子，甚至直到以太粒子，如果我们承认以太粒子存在的话。"① 恩格斯所说的"体系"，今天普遍译作"系统"。自然界以系统的形式存在着，并形成一定的层次结构(表 5-2-1)

这样一幅自然界的的系统层次结构的存在图景并非从来如此，而是自然系统整体演化的结果。按照现代宇宙学的大爆炸宇宙

① 恩格斯. 自然辩证法. 人民出版社，1971 年，54

论、暴胀宇宙论、量子引力理论等学说描述的观测宇宙整体演化图景，极大地深化了我们关于存在和演化的统一性的认识。

**表 5-2-1　目前已知的物质层次及其质量、尺度和相互作用**

| 层　次 | 质量(g) | 尺度(cm) | 典型的作用力(及相对强度) |
|---|---|---|---|
| 总星系 | $2\times10^{55}$ | 1.5　$2\times10$ | |
| 星　系 | $10^{36}$　$10^{45}$ | $10^{20}$　$10^{23}$ | |
| 恒　星 | $10^{32}$—$10^{35}$ | $10^{6}$—$10^{14}$ | 引力($10^{-38}$) |
| 行　星 | $10^{24}$　$10^{40}$ | $10^{8}$　$10^{10}$ | |
| 地上物 | $10^{-15}$—$10^{21}$ | $10^{-5}$—$10^{7}$ | |
| 分　子 | $10^{-72}$—$10^{-15}$ | $10^{-8}$—$10^{-6}$ | 电磁力($10^{-2}$) |
| 原　子 | $10^{-24}$—$10^{-21}$ | $10^{-8}$—$10^{-7}$ | |
| 原子核 | $10^{-23}$—$10^{-21}$ | $10^{-13}$—$10^{-12}$ | 强力(1) |
| 基本粒子 | 0　$10^{-23}$ | $10^{-13}$ | 强力，弱力($10^{-12}$) |

宇宙创生相应的时间约为 $10^{-44}$s。创生之前，对称性极高，不能区分出自然界的四种基本相互作用，它们是统一的，可能应该用超统一理论来解释。宇宙创生是“道生一”，从“无”到“有”，发生对应于超统一理论的超引力真空相变，这次对称破缺的结果是量子引力开始起作用，(实)时空(从虚时空)产生出来，即观测宇宙的创生或起源。

接下去，就进入了宇宙极早期。这时发生了真空暴涨，在暴涨期结束时，相应的时间约为 $10^{-35}$s，发生大统一的真空相变，宇宙中于是出现了不对称，强力开始登上宇宙史的演化舞台；相变中放出的能量转变成辐射和粒子，这是宇宙中的实物的起源，主要是强子以及几种轻子，所以又被称为强子时代。紧接随后就迎来轻子丰富的轻子时代。这一切只不过发生在宇宙年龄为 10s 之内。

轻子时代发生了对应于弱电统一理论的真空相变，相应的时间约为 $10^{-10}$s。电弱相变的结果是弱力和电磁力出现了对称破缺，

于是四种基本作用力都出现了。轻子时代的轻子分解和正反粒子的湮灭，产生了大量的光子和中微子，于是宇宙就进入了以辐射为主的辐射时代，即相对于实物粒子而言光辐射占优势的时代。

辐射时代也是核合成时代。进入辐射时代不久，开始了核素的合成，逐渐合成了几种轻元素，其中氘、氦是最先出现的。氦很稳定，得以保持至今。随着宇宙的膨胀，实物粒子的密度下降得比辐射密度慢，几十万年过去了以后，终于迎来了实物密度占优势的新时期。

进入实物时期，宇宙中的温度已经下降到几千K。这一时期开始时，物质几乎完全是电离的，当温度下降到一个临界点以后，电离物质开始复合，成为中性物质。最先复合的是氦，最后复合的是氢。复合开始后，实物和辐射的相互作用变弱。当复合基本完成以后，辐射与实物退耦，开始了各自的独立的演化。

按照目前比较公认的弥漫说，当宇宙中充满以氢为主的气态物质时，气体受某种扰动（如引力不稳定，湍涡流的碰撞、混合）形成凝聚状态。气体物质空间分布的对称性被打破，从混沌的气体物质中出现了有序，巨大的气体云块形成了，成为"星系胚"。引力不稳定假说认为，宇宙膨胀后产生的弥漫物质的分布并不绝对均匀，密度会有涨落，因此引力的作用也不均匀。这种不均匀性会逐渐增长，于是就导致了弥漫物质因为引力不稳定而凝结成原星系，即星系胚。湍流学说则认为，辐射时代所形成的等离子体的湍流进入到实物阶段后互相碰撞和混合，并产生巨大的冲击波，使物质凝集成团块，成为原星系。另外也有不同于弥漫说的其他观点，例如，超密说认为在宇宙大爆炸过程中，有一些物质延迟爆炸，当它们爆炸时抛出比周围物质密度大得多的超密物质，质量较大的超密物质分裂成为较小的超密块，每块形成一个星系。

关于恒星的起源，弥漫说和超密说也给出了不同的图景。弥漫说认为恒星是由星际物质收缩凝集而成的，由星云脱胎而来。而超

密说认为恒星是由超密物质在星协中成群形成的；超密物质爆炸碎裂，碎片形成许多恒星，年轻的尚未分散开的恒星形成稀疏的恒星集团——星协。弥漫物质、恒星和超密物质都是我们的宇宙中客观存在的物质形态，但三者之间是如何联系的，目前还没有令人信服的回答，有待进一步探索。

随着恒星的形成和演化，行星形成了，较重的化学元素以及像分子这样的其他星际物质也先后产生出来。我们的太阳就是这亿万颗恒星之中的一员。在太阳系和地球的进一步的演化之中，在一定的条件和一定的阶段，物质世界又发生了一次对称破缺，出现了有机界。当有自觉意识的人类产生出来时，主体与客体的对称性又破缺了。这是一个从混沌到有序、从混沌宇宙逐渐分化的过程，宇宙的结构和秩序就是这样产生的。如果把各种物质形态的空间尺度对其形成的时间尺度作图，就得到了图 5-2-1。

把图 5-2-1 与表 5-2-1 进行比较，表正好是图中忽略了时间因素的结果。于是宇宙系统的存在与演化之间的关系就清楚了：现实存在是历史演化的沉淀，历史演化是现实存在的根据，存在和演化是一个问题的两个方面。辩证唯物主义关于相对静止和绝对运动的关系在这里得到了鲜明体现。

这里出现的是作为一个整体的系统进化过程中的分化，并且在分化之中形成了层次结构。从时间上看，在此并没有按基本粒子、原子核、原子、分子……，直至总星系这样一个先后顺序。对于原子核和电子构成原子，原子构成分子，分子构成物体……的由下向上的构成观，不能作绝对的理解，它只有在相对静止的意义上，才可能是正确的。这里的整体演化中，大尺度高层次的出现，规定了其中的发展，当其中的发展起某一低层次时，反过来又推动了高层次的演化。这样意义上的高层次及其结构和低层次及其结构，就其相对独立的意义上来说，表现为一条宏观链和一条微观链。借用宏观链和微观链的说法，那么可以说，宏观的发展推动了微观的发

展，而微观的发展又反过来推动了宏观的发展。

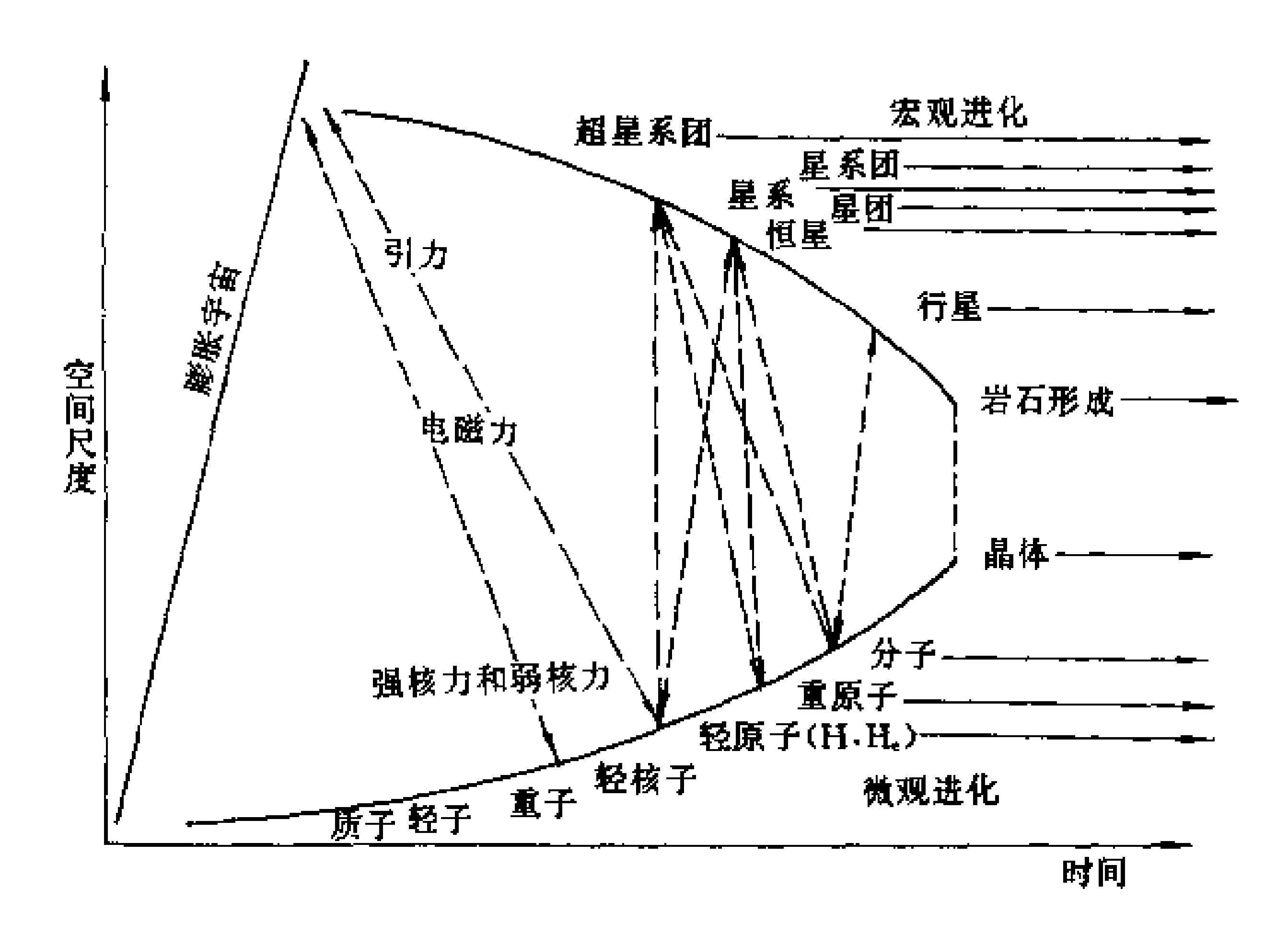



图 5-2-1 宏观(结构)链与微观(结构)链的共同演化①

就我们的认识，在宏观尺度上起作用的主要是引力和电磁力，其中尤其重要的是引力相互作用。正是引力相互作用占据主导地位时，使弥漫的天体物质自发地组织起来，孕育了星系胚，进而形成了星系，以及像我们的太阳这样的恒星。并按照现在比较公认的看法，恒星从原始星云中诞生出来时，恒星内部产生了高温高压状态，温度达 $7\times10^{6}$K 以上，氢开始聚变为氦，这是 4 个氢核合成一个氦核的核聚变过程，同时也有碳、氮、氧等元素的生成。核能的排斥作用顶住了恒星的进一步收缩，使之处于稳定态。核力相互作

① 埃里克·詹奇. 自组织的宇宙观. 曾国屏、吴彤、宋怀时等译. 北京：中国社会科学出版社，1992 年，107 页

用也参与到自组织演化之中。当恒星核心的氦全部聚变成氢以后，核心的辐射排斥作用随之下降，新的引力收缩重新开始，并造成核心部位温度急剧上升。温度上升到 $10^8$K 时，开始了氦聚变成碳的反应。碳生成后，碳和氦又反应生成氧。接下去，由于氦、氧反应放出能量，恒星核心温度继续升高，当达到 $5\times10^8$…$10^9$K 时，便引起了碳、氧燃烧，生成镁、锶、硫、钙、钛等核素。当温度继续上升到 $4\times10^9$K 时，还可以生成钒、铬、锰、铁、钴和镍等核素，而其他一些元素也会在一些相伴的过程中产生出来。

这里表明，大尺度的引力收缩是造成核反应的原因，宏观分支的演化推动了微观分支的演化；恒星内的核反应又推动了整个恒星的演变，微观分支的演化也推动了宏观分支的演化。宏观和微观、上层和下层，作为整体之中的部分是相互联系、相互作用的，是既相互独立又共同演化的。这里必须以观测宇宙系统作为一个整体的观点来看待物质世界的层次结构。

## 5.3 太阳和地球:子系统的自组织演化

太阳是宇宙中的子系统，生命的摇篮——地球又是太阳系的一位成员即子系统，这里有必要对太阳和地球的自组织演化专门加以讨论。

目前，太空中的混沌和有序的转化系列就已经基本上清楚了：……星际弥漫物质→恒星→新的星际弥漫物质→新一代恒星→……。这种时间上的转化，正是太空中无数恒星得以空间并存的基本前提。研究表明，银河之中的恒星就可以分为不同的星族，星族Ⅰ之中的恒星已非由最原始星云形成的第一代恒星，而是第二代、第三代的星，太阳就是属于这个星族的一颗恒星。按照目前比较完整和自洽的星云说，恒星的一生是一个漫长的历史过程，从形成到衰亡，大致要经历引力收缩、主序星、红巨星、致密星等几个阶段。

作为太阳系的一员，地球的诞生和演化是与整个太阳系的形

成和演化联系在一起的。按照占据主导地位的星云说，地球也是由“冷”的弥漫星云物质自组织演化而成的。当太阳系的原始星云在湍流中形成时因吸引作用向中心收缩。收缩自转中，星云逐渐变扁，当吸引和排斥的相互作用造成了星云盘时，星云的中心部分收缩成为了太阳，星云盘外围物质则逐渐形成了行星。地球就是其中的一颗行星。

原始地球一旦诞生，就开始了自己的相对独立的发展。这时，它不再仅仅作为太阳系中的一个要素，其本身也形成一个有一定独立性的系统。由于地球内部放射性元素的蜕变、地球快速旋转以及地球引力收缩所产生的热，使原始地球不断增温。当地球内部温度升高到一定程度时，原始地球的物质发生了熔融和分化，以重元素如铁、镍等为主的物质向地心下沉，逐渐形成了一个以铁镍为核心的地核。以较轻元素为主的的物质，如硅酸盐等向表面上浮，形成了可塑性的地幔。随着地幔表层的冷却便形成了原始地壳。于是，一个有地核、地幔和地壳这三个不同圈层的原始地球便形成了。

原始地球系统形成的初期，薄薄的地壳还很脆弱，地球内部的高温岩浆很容易找到突破口，喷出炽热的岩浆和滚滚的浓烟。地壳又是直接暴露在环境之中，在陨石等天体的直接撞击下，变得千疮百孔，这反过来又加剧了火山爆发和地震活动，终于造成了坎坷不平、高低不一的地表。

当弥漫物质形成地球时，大量的碳、氮和水通过不挥发的化合物而留在原始地球上，在原始地球系统内部运动以及系统与环境相互作用的诸因素的共同作用下，地壳内喷出物产生的气体弥散开来，形成了原始的大气圈。原始的大气圈是还原性的，含有还原性气体，除了其主要成分二氧化碳以外，还有一氧化碳、甲烷、氨以及水蒸汽等。随着温度的下降，原始大气圈中的部分水蒸汽冷凝成液态水降落地面，逐步造就了原始水圈。

原始地球诞生几亿到几十亿年后，地球演化的“天文时代”就结束了，地球演化进入了“地质时期”，这大约发生在35亿年前。

到了这一时期，地壳仍然处在不断运动之中。由于地球内部圈层温度不一、内软外硬，地壳厚薄不一，处于非平衡状态，整体上的自组织活动便引起了地壳的水平运动和垂直运动。至少从30亿年前开始，地壳就以水平运动为主了。从大陆漂移说到海底扩张说，再到板块构造说，它们是三种有机联系的学说。它们告诉我们，整个地壳可以划分为若干个大的板块，板块随着地幔软流圈的热运动而发生移动，因此不仅大陆在漂移，海底也在漂移，整个地壳都由于板块的移动而进行着大规模的水平运动，这种水平运动今天仍然在继续。

地壳的垂直运动同样引人注目。进入地质时期以来，地球曾经经历过多次造山运动。虽然缓慢的地壳运动引起的垂直运动在短时间内难以为人们所察觉，但剧烈的地壳运动则会在短时间内给地球的面貌带来巨大的改变，如火山爆发、地震等等。围绕地壳的垂直运动，18世纪末地质史上爆发过著名的“火成论”与“水成论”之争，19世纪初又发生“灾变论”与“渐变论”的论战，争论的双方往往都只看到问题的一个方面。地壳表面的巨大变化，既有地壳内部的原因，也有地壳外部的原因，既有突变，也有渐变。

实际上，尽管人们今日已经把眼光展望到200亿年的天际，但人们对于地壳内部的运动机制知之甚少。不论人们已对地壳内部的运动机制提出多少假说，如果仅仅从平衡热力学的观点去研究地球内部的运动，今天看来已经远远不够。最新的关于固液反应体系的试验表明，在这种体系中也会出现系统的自组织，出现有序结构和周期性振荡。于是，进一步把这种结论推广到地球内部的熔融的岩浆状态，也就是很自然的了。事实上，许多地质现象，从宏观的板块运动到地质岩石、矿床的形成和分布，看来也只有以非平衡非线性系统的自组织来加以理解，才能进一步揭示其中的奥秘。

理解开放系统，不仅要考察其中的内部机制，还要考察系统与环境的交换。同样的，地壳表面的演化不仅取决于地壳及地壳内部的不断运动，还取决于地壳表面上的运动。由于原始地球水圈的存在，形成了江、河、湖、海，出现了海陆分化。原始水圈的演化又是与原始大气圈的出现和演化相联系的，而这一切又是与地球的大环境——太阳系的演化相联系。正是风雨川流的洗刷，日、月引力引起的潮汐冲击，气温、昼夜变化的热胀冷缩，以及地壳岩层中的机械的、物理的、化学的种种过程的持续不断的作用，内部的吸引和排斥、外部的涨落、交换和冲击，才造成了"移山填海"、"沧海桑田"。

地球表面上的变化更是与生命的诞生和生物的进化密切相联系。大气圈的演变就直接与生命的出现有关，而大气成分的改变，氧化性大气层的形成，反过来不仅改变了生态环境，也使得岩石氧化有通过种种途径重返地壳内部，从而影响了地壳内部的成分，这正如今日之火山爆发喷出的气体已不再是还原性的，而是氧化性的所表明的。

而早在地球宏观演化的"天文时期"，原始地球的演变，就已经为生命诞生创造了一种必要的前提条件。

## 5.4 精神之花：宇宙演化的最高产物

我们已经看到，我们面对的宇宙形成了一个多层次的自主有序的系统。如果按现代宇宙演化论，把各种物质形态的空间尺度对其形成的时间尺度作图，我们就得到了一条宏观历史链条，以及一条微观历史链条，并在两大链条的终点形成了交汇区。有机界，直至其最高代表——人，正是在这种交汇之处出现的；宇宙的精神之花，正是在这个交汇之处盛开的。生命仅仅在这里出现，这就表明，生命的出现、人的出现是与宇宙的演化相联系的。

著名的"人择原理"探讨了这种天人联系。

20 世纪 30 年代，物理学家狄拉克(P・A・M・Dirac)通过对一些自然常数的比较，提出了“大数假说”。他发现，氢原子中静电力与万有引力之比得到一个无量纲大数：a1＝ $2.3\times10^{39}$；以原子单位来度量的光线穿过观测宇宙所用的时间与穿过一个原子所用的时间之比，也是一个无量纲大数：a2＝$7\times10^{39}$。他认为这不是一种巧合，而是表征了微观世界和宏观世界的基本特性以及两者之间的联系。他进一步发现，以原子质量为单位来表示的观测宇宙总质量又是一个无量纲的大数：$a_3=1.2\times(10^{39})^2$。。这使得他进一步推论：一切出现于宇宙学和物理学基本定律中的无量纲大数，都可以表示为$(10^{39})^a$，即都与宇宙年龄的 a 次方成正比。

这种关系究竟是一个巧合呢，还是反映了自然界的客观联系？人们对于大数假说作了种种解释。20 世纪 60 年代，美国物理学家笛克(R・H・Dicke )发表“狄拉克的宇宙学和马赫原理”一文，认为“大数假说”反映的正是人类在这个可见宇宙中的存在。英国学者卡特(B・Carter)称这种观点为“弱人择原理”，并进而提出了“强人择原理”，深化和发展了笛克的见解。

弱人择原理认为，狄拉克发现的引力耦合常数关系式 $a_1=(a_3)^{1/2}=10^{39}$，是以马赫原理为基础的；$a_1$ 和 $a_2$ 两个大数并非永远相同，我们发现它们现在相同并非巧合，而是宇宙演化到这样一个阶段的结果，这就是出现了反过来能认识宇宙的人类的阶段。按照他的说法，宇宙常数实际上是演化的，如果这些常数有些不同，那么我们人类就不会在这里。强人择原理进一步解释说，温度、化学环境等方面的某些条件是人类存在的先决条件，至少在这范围内观察者的位置是特殊的，而我们能预期观察的内容是受到观察者存在条件的限制，因此，我们在宇宙中的位置虽然不是宇宙之中心，但是我们也得到了某种程度的优惠。按照霍金在他那本于 20 世纪 80 年代出版、风靡世界的《时间简史》(中译本为《时间史之谜》)一书中的说法，弱人择原理认为，在宇宙中发展起理智生命只

是在某些时间和某些空域得到满足，如果这些空域里的理智人在所在地观测到他们所处之处满足了他们存在所需的条件，他们不会感到惊奇。而在强人择原理看来，为什么宇宙是我们看到的这样，答案只能是：如果不是这样，我们就不会在这里。[①]

围绕人择原理的解释多种多样，共同之处是把人的出现与宇宙系统的自组织演化联系起来。在宏观和微观的两大链条的交汇之处出现了生命诞生的条件，而这正好反映了自然界基本常数的关系，这并非完全不可能。尽管我们现在还不敢断定事实就是这样，而毋宁将其看作一种后验的解释。如果将来真的证明这一切正好反映了客观世界的某种规律性联系，那么就不会再将其仅仅看作一种后验的解释，而就会将其丰富成为一条科学基本原理。起初是直觉的、巧合的东西，回来被证明反映了必然的、内在的联系，这在科学史上也是屡见不鲜的。

从统一的宇宙图景来看，作为人的产生的物质基础，化学元素是自然界演化到一定阶段的产物。恒星的一生中，从氢开始逐步产生出一些其他元素，而重元素则是恒星临终时发生超新星爆炸时才形成的，这种爆发把种种元素散发到太空之中。太阳这样的恒星已不是第一代恒星，而是这些成分以特定方式，通过物质的自组织结合而成的。在太阳系的地球上，成为有机界出现直至人的诞生的物质基础。

至于人的出现所仰仗的环境条件方面，太阳系中的地球的确有其得天独厚之处。它在太阳系中的位置和运动，使之有可能成为生命的摇篮，而物质的自组织以及生命的出现，又进一步改造了地球，使之产生了适合生命由简单到复杂、从低级到高级发展的地面环境。

---

① 斯蒂芬·霍金．时间史之谜．张星岩、刘建华译．上海：上海人民出版社，1991年，148—151

自然界有四种基本相互作用力，物质系统的自组织，从微观粒子到星系、星系团、总星系，其发生、发展都有赖于这些内在的相互作用。引力在大尺度上起着主要作用，成为宏观演化的主要依据。弱力是一种短程相互作用力，只有在粒子间距离小到$10^{-14}$cm时，才能起作用。强相互作用就是核力相互作用，它的作用最强，使核子吸引在一起形成原子核的力正是强相互作用力。电磁力虽然也是一种长程相互作用力，但是实际上主要是在地面物体的尺度和原子、分子的水平上起主导作用，也就是在前述的两大分支的汇合处附近起基本作用。电磁力的作用不算太强，太强会使系统过于固定不移；电磁力也不算太弱，太弱会使系统难以维系，即使维系起来也会变动不居、稳定性很差。在观测宇宙的起源和演化中，随着逐次的对称破缺，这四种基本相互作用逐次从统一中分化出来，规定和维系了这个总系统的自发组织。

总之，"大数假说"的"人择原理"的哲学含义就是天人相通，宇宙是人的宇宙，而人是宇宙之中的人，两者统一于宇宙演化的现阶段。天人相通、天人交感，是传统东方思维的一个特点。东方传统思维中，所有事物都被看作宇宙整体中相互依赖、不可分割的部分，世界上所有现象都只不过是基本的统一体的表现而已。这个自发运动、自我组织的统一体，在印度教中被称为梵，在佛教中叫做法身，道教则谓之为道。人和宇宙相联系，天和人间相感应，这种东方精神长盛不衰。尽管它在近代科学面前曾一度失去了辉煌，今日却又重新得以光彩夺目。以牛顿力学为代表的近代科学是把人排除在科学之外的科学，从而也就把天人的联系割裂开来。而当代科学的发展，又使我们严肃地思考天人之间的联系。钱学森主张把"所谓的'人的宇宙学原理'或'人择原理'扩展成人天观"。他写道："人同宇宙，主体和客体是相依而存在的，有不可分割的关系"。①

---

① 钱学森．开展人体科学的研究．自然杂志，1981年7期，483—488

在我们看来无论如何，即使是一些基本的物理常数规定了人的出现，那也是物质世界的自组织使得可能性转变成为了现实性。因此，所谓的人择原理，也可以称作关于人的自组织原理。今天的认识表明，在物质世界的生生不息的演化中，终于在一定的时空中创造出生命出现的前提条件和物质基础，而且在进一步的发展之中又促成了从无机界转化出有机界。正如我们在这里的其他章节看到的，化学元素是自然界自组织演化的产物，自然界的自组织产生出来生命的摇篮；大自然的进一步自组织，使生命之花出现在地球上，反之生命又改造了地球，使之更适合自己的发展，这才有了鸟语花香、精神之花盛开怒放。要是没有生命，就没有今日之地球，当然就不会有地球上生机盎然，甚至也就不会有今日地球的气候、地貌。科学告诉我们，今日的大气层也要归结为地球上出现了生命，原始生命的出现促使还原性大气转变成了富氧的大气。生命离不开地球，而地球又是靠生命来维系的。要是地球上没有了生命，它就重新成为一片荒漠。

人的认识也跟观测宇宙及其历史相联系。我们的观测宇宙有其不可逆的演化历史，热力学箭头从有序指向无序，时间之矢从过去指向未来。爱因斯坦说，我们不可能把电报拍到过去之中去。维纳指出，能和我们通信的世界，其热力学箭头和我们的相同，我们能观测到天体本身就表明其热力学与我们的一致。普里戈金认为，时间的对称破缺是我们认识世界的一个根本要素，认识跟生命的特征相联系。霍金试图论证，宇宙学箭头、热力学箭头和心理学箭头相一致，如果它们不一致就谈不上出现生命，精神的反思就更无从谈起。康德提出的问题是：人的认识何以可能。当代科学的回答是：人的认知之所以可能，因为天人相通、生命的过程跟宇宙的过程相一致。

天复地载，万物悉备，莫贵于人；人以天地之气生，四时之法成。

《黄帝内经·素问· 宝命全形论》

# 6 生命系统观

生命的出现，是自然系统演化史上的一次重大飞跃。有了生命，自然界从此一分为二，有了有机界和无机界的对称破缺。但是，生命与非生命并非截然对立的，而是对立统一的。系统论就是要探讨这种在有机界和无机界的差异之中的统一性，用辩证系统的观点来理解生命和生命系统，把生命系统看作是一个从无序到有序、从非生命到生命、从简单到复杂、从低级到高级，通过合目的的自组织运动不断进化的开放的复杂巨系统。

## 6.1 分子进化：从无序到有序，从非生命到生命

"生命的起源必然是通过化学的途径实现的。"[①] 恩格斯早在19世纪70年代概括当时自然科学成果、奠定系统的自然图景时就提出了这一著名论断。现代自然科学的关于生命起源的化学途径的研究，完全证实了恩格斯的这一光辉论断。

生命起源的途径首先要涉及到化学进化。

化学反应的物质基础——化学元素的形成和演化是与宇宙的演化相联系的，是宇宙之中的一种普遍现象。各种元素在宇宙中的分布丰度的存在（这至少在银河系中是比较肯定的），也表明了这种普遍性。

① 马克思恩格斯选集第三卷. 北京：人民出版社，1972年，112

化学反应，至少就其初级阶段而言，在太空中也是一种普遍性现象。原子结合成分子的过程既可以在恒星表面进行，也可以在星际空间进行。星际物质中含有种种简单分子以及化合物，今天已不再是秘密。人们已发现了种种星际分子，陨石这种最廉价的天外来客也给我们送来有关信息。

在原始地球的情形，化学进化的初级阶段可以顺利进行。根据现有的认识，原始地球大气成分包括 $H_2$、$H_2O$、$CH_4$、$NH_3$、$N_2$、$CO$、$CO_2$、$H_2S$ 等小分子，这就提供了形成有机分子的物质材料。化学变化主要是与电磁相互作用相联系，化合和分解具体表现为化学键的形成和破裂，这过程需要有一定的能量。原始地球上，太阳光中强烈的紫外线、频繁的雷击以及火山爆发、宇宙射线等等都提供了丰富的能源，都可以作为启动化学反应的契机。以 1953 年当时还是一个青年学生的美国化学家米勒(S・Miller)的著名实验为先导，实验室里的模拟实验已经证明了这种可能性。这些模拟实验有力地说明，在原始地球的条件下，无机小分子完全可以通过自然途径，自发组织成为有机分子。

有了大量的有机小分子，在条件具备的情形，更为复杂的大分子的合成成为可能。1965 年，我国科学家率先人工合成了具有生物活性的结晶牛胰岛素，进一步突破了一般有机分子和生物大分子的界限，为物质自组织的化学进化提供了佐证。

氨基酸、核苷酸在原始地球条件下是如何自发合成蛋白质和核酸这样的重要的生物大分子的，目前还没有定论。模拟原始地球条件的实验表明，蛋白质分子的合成相对容易，核酸分子的合成还有一些困难，而且即使合成了也不稳定。不同的研究往往强调了不同的方面，而这些条件在原始地球的情形都是可能的。研究也表明，有机小分子合成生物大分子，决非纯粹偶然的，它们的形成是不可避免的。

一旦出现了生物大分子，无论这些最初形成的大分子是多么

的粗糙，都已具备某种程度的生物活性。例如，原始蛋白质呈现出一定的酶的催化活性，原始的核酸则呈表现出一定的自复制能力。按照超循环系统理论，有机小分子在催化条件下形成了具有自复制能力的核酸，就是从反应循环发展到催化循环。

生物化学的研究表明，蛋白质和核酸都是比较脆弱的分子，只能在较窄的温度、溶液酸碱度范围内才能保持其生物活性，而且生物活性也容易受紫外辐射等作用的破坏。因此，它们要在原始地球的严酷条件下保持和发展，就必须具有某种非常特殊的环境，或者形成某种具有一定自主性、能够自我调节和自我稳定的系统。一般而言，后一种可能性才可能是现实的可能性。系统科学告诉我们，只有多个要素形成相干作用、产生出整体行为的耗散自组织系统才是具有自主性、自调节性、自稳定性的系统。而且，只有这样的系统，才可能使得在随机事件中出现的大分子得以保持下来，可以利用原料来合成新的一代产物。

如果小分子的形成被看作化学进化的开端，那么生物大分子的形成就是化学进化的结束。系统科学，特别是超循环理论的研究认为，通过大分子系统的自组织进化，最终就导致了生命起源。

20 世纪上半叶，科学化学进化论倡导者、原苏联科学家奥巴林(A. И. Опарин，1894—1980)把白明胶、阿拉伯胶和其他种类的蛋白质溶液在一定条件下混合后得到了“团聚体”，他认为这种开放体系已经初步具有生命特征。但是，他的大分子自组织体系所利用的是从现代生物体得到的聚合物，还难以直接与原始地球条件下的化学进化相比拟。20 世纪中叶，美国科学家福克斯(S • Fox)把模拟原始地球在高温条件下得到的类蛋白质冷却时发现，类蛋白质缩到一起，形成微球体，可获得直径为 2μm 的类蛋白微球体。它与小的细菌一般大，有相对稳定的结构，还可以显示出许多与细胞相似的特性。

这两种影响很大的关于大分子体系自组织演化的学说，都或

明或暗地假定了生命的起源是以蛋白质为基础的，核酸的遗传机制是以后才获得的。而现代生物学告诉我们，生命中核酸和蛋白质是互相影响、互相依赖、互为因果的，蛋白质的合成离不开核酸来编码，而核酸的合成和复制要由蛋白质（酶）来催化，核酸的编码和功能靠蛋白质来表达，两者缺一不可。对于核酸和蛋白质分子的相互关系的理解，正是生命起源千古之谜的最关键之处。与生命起源相联系时，情况也是这样吗？有没有其中之一在先，或说是否有一方是主导因素呢？

与上述假说以蛋白质为基础不同，还有一类假说认为与生命起源相联系的大分子自组织是以核酸为基础的。这类假说认为，原始地球上有一些物质具有酶的催化活性，例如，在核酸复制时，铅、锌等金属粒子可以代替有关的酶起催化作用，有人已经用实验证明这一点。还有人认为，核酸本身能代替酶起催化作用，模拟试验表明，在没有酶催化的情况下，核酸也能合成并自复制。1967 年以来，西格尔曼（Spiegelmann ）等曾从无细胞的复制酶体系中实现了 $Q_\beta$-RNA 的复制，实现了一系列“进化实验”。如果能用原始的表面催化剂来代替实验中的复制酶，且实验中的环境条件在原始地球表面的确存在过，这种实验就有力地支持了核酸分子进化的假定。

超循环系统理论则提出从核酸和蛋白质的相互作用中去理解两者的关系。按照超循环理论的观点，可以假定[①]：

1. 在原始地球的某种环境中，所有各种高能原料都是普遍存在着，尤其是以各种丰度存在着氨基酸以及包括四种碱基 A、U、G、C 的核苷酸，它们可以随机地聚合成原始的蛋白质（多肽）和核酸（聚核苷酸）。

---

① 艾根、舒斯特尔著. 曾国屏、沈小峰译. 超循环论. 上海：上海译文出版社，1990 年，203

2. 在原始的大分子体系中，虽然多肽比聚核苷酸数量多，但只有后者由于其物质结构才具有自复制性质，这是系统进化的必要条件。

3. 在一定条件下可复制的聚核苷酸形成某种拟种分布，显示出竞争行为，这是信息增长的必要前提，但其最终信息量的增长是很有限的。

4. 拟种与氨基酸、多肽的相互作用中，形成了最初的信使和翻译产物的关系。当某种信使与相应的翻译产物包括反映翻译产物组成和结构的环境之间出现相互促进的协同作用时，便形成了超循环组织，使组织复杂化和信息的较大增长成为可能。

5. 每当占支配的信使的突变体具有优势时，就可以整合到复制循环之中去，从而可以建立起带几种密码子分配的超循环组织，这是翻译器相干进化的前提。

6. 复杂的超循环组织，只有能有效地利用有利的表现型变化，才能够进一步进化。为了在选择上有利于相应的基因型，空间分隔（通过分隔间化或是形成复合物）成为必要。

7. 适当的分隔间可以是如同奥巴林描述的团聚体，或是福克斯等人揭示的微球体。

8. 分隔间导致个体化，带来了新的选择优势，因而可进一步进化，最终将其信息量完全整合进一个巨大的基因团，形成高度复杂的酶读出机制，诞生出原始细胞。

另外，美国著名物理学家学家戴森（F. Dyson）1982 年发表了“关于生命起源的一个模型”[①] 一文，提出了生命双起源学说。1983 年，他在薛定谔（E. Schrödinger，1887—1961）发表划时代的“生命是什么？”讲演的地方——英国伦敦剑桥三一学院“塔纳讲座”（其主题为“关于科学哲学和各门知识部门之间的关系和了解”）应

① F. Dyson, A Model for the Orig.n of Life. *J. Mol. Evol.* 18, 344—50

邀发表了“生命的两次起源”的讲演。他认为关于生命起源的理论中，奥巴林的理论、艾根的理论和卡林斯-史密斯生命从泥土起源的理论要算是最有代表性的三种理论。戴森说：“奥巴林和艾根的理论都假定了生命的起源只是单一的过程。奥巴林主要强调了代谢，而很少讨论复制。艾根主要强调了复制，并设想一旦复制建立起来，接踵而至就有代谢出现。我认为，如果把奥巴林和艾根的理论结合起来并分别解释为双起源的一半，那么就更有意义了。在这种情况下可以说，奥巴林和艾根也许都是对的。奥巴林描述了第一次生命起源，艾根则描述了第二次。采取这种解释，我们把两个理论的长处都结合起来，并消除了它们的最严重的短处。而且，把奥巴林和艾根的理论结合成双起源理论并不与卡林斯-史密斯的理论截然不同。大致可以说，卡林斯-史密斯的理论等于奥巴林加上艾根再加上一点泥土。也许三个理论都包含一部分真理。”[①] 戴森试图综合三家之长，从而提出生命双起源学说的，目的在于为生命起源研究开出一条新思路，提醒人们在新的起点上重新注意代谢研究。

尽管目前对于生命究竟采用何种方式起源远未取得共识，但是以上的这些探索，都肯定了大分子系统的自组织导致生命起源的自然图景。这样的途径有其必然性，决非全然偶然的。这样的途径发生在地球上，但并不排除发生在其他条件适合的天体上。众所周知，有一种影响很大的生命外来说，暂且不论所谓的空间旅途之艰难，这种“地外输入论”的致命弱点是，它只是把时空坐标转换了一下，而没有回答生命究竟是如何从非生命转化而来的；它的唯一避难所是“生命永恒论”，但是连教皇也不同意搭建这么一个避难所。

---

① F. Dyson, Origins of Life. London: Cambridge University Press, 1985

## 6.2 生物进化:从简单到复杂,从低级向高级

随着第一个(或许说第一批更恰当)细胞的出现,生命的基本单元形成了,整体有机界的基础便产生出来。据现有的资料,这个过程大约在 35 亿年前就开始了,是地球还处在"天文时代"时期就出现的事件。

生命是一种具有高度自主性的非平衡非线性开放系统,它一旦出现,就不只是适应环境,而且也在改造和创造环境,表现出合目的的自组织,促使生命由低级向高级不断进化。尽管系统与环境相互影响是一切开放系统的共性,但是有机系统与无机系统比起来,在质上和量上都有很大的区别。在量上,无机系统造成的环境的改变远不如有机系统;在质上,与无机系统只能消极地利用环境不同,有机系统或多或少都能主动地利用环境、改造环境,表现出合目的性行为。

最初出现的是原核细胞。原核细胞是不完善的,结构上比较简单,它只有细胞膜、细胞质和一个相当于细胞核的拟核区,没有典型的细胞核和细胞器。现代生活在我们周围的这类生物有枝原体、细菌和蓝藻等,这些由原核细胞构成的生物,叫做原核生物。原核生物结构简单,只能以周围现成的有机物质作为养料,依靠发酵来获取能量,因此是在厌氧、异养的条件下生活的。有一种假定认为,在这种原始条件下,原始生物和原始大气之间是靠一种氢与甲烷循环联系起来的,有些类似于今天的动植物和大气之间是靠氧与二氧化碳循环联系起来。在这个过程中,随着原始生物的广泛传播,原始地球上的有机物逐渐被消耗掉,而二氧化碳则在大气中积累起来。

于是这样一个时机终于到来,发酵过程发生了重大的转变,一些原始生命通过自组织改变了自身,可以通过一面吸收二氧化碳,一面利用多种化合物的能量,开始合成诸如细胞质这样的有机物,

甚至具有了利用太阳能的新本领。在南非德兰士东部斯威士的堆积岩中发现的34亿年前的微化石中鉴别出来的一组约200个化石细胞，看起来处于细胞分裂的不同阶段。这些细胞被认为是当时生活在温暖的浅水中的蓝绿藻，其直径为0.0025mm，它们明显地已经形成了复杂的光合途径，这就意味着能够利用太阳光能，以二氧化碳和水来生产有机物，并放出氧。由蓝绿藻这种原核生物聚留下来的垫藻岩，时间上稍晚一些，最古老的可追溯到30亿年前，而20亿年形成的垫藻岩已在地球上数十个地方发现了。可以认为，蓝绿藻是第一个全球范围的光合产生氧的生物，主要是它们使地球的大气成分发生了根本性改变。

一般认为，原始地球早期尽管也有其他可能的产氧机制，但只有原始生物的光合作用才可能造成原始大气成分的根本转变。事实上，原核生物的光合产氧效率是很高的，据计算，1g原核生物在无限制生长的理想情况下，只要40年就可以生产出今日大气中存在的所有的氧。原始生命的光合能力的确很惊人，20世纪80年代在海平面以下200多米深的地方发现一种紫珊瑚状海藻，只要有海平面上阳光能量的0.0005%就能制造养分，而以前植物学家认为，在光辐射小于1%时海中就不可能有光合作用。

随着光合作用的出现，大气中便开始积累氧，其结果一方面在大气层上形成了臭氧保护层，促进了原始地球上生态环境的改善，为生命的进一步发展创造了条件；另一方面则推动了消耗氧的需氧型细胞的产生，可以更有效地获得更多的能量，从而形成更大的群体密度，增加产生出新型有机体的机会。

光合作用的出现，也标志着自养生物的出现。这意味着生物界同化作用大为加强，减少了对环境的依赖性，增进了独立自主性，提高了生物的自组织程度。同时，由异养过渡到自养，从异养生物中分化出自养生物，使早期的生物界具有了异养与自养、合成与分解这样两个基本环节，促进了生物圈转变成一个有能量交换的开

放系统。

生物从太阳辐射获得能量，并将产生的熵和废热送回空间。而大气圈一方面存贮热，另一方面又调节废热辐射以较平稳的方式进行。如果把生物圈和大气圈结合为一个整体系统来看，这个高度非平衡系统中，原核生物即是使之远离平衡得以保持的催化剂，推动这个非平衡系统大约在15亿年前演化成为一个全球的、自调节的、稳定发展的自组织系统。有人以希腊神话中大地之母来将其命名为"盖娅系统"，也有将其称作"生物发生圈"。这个开放自组织系统不断与太阳系交换能量，通过生物化学过程与地表的无机界进行着物质交换，其中的子系统之间也进行着物质和能量的交换，形成了一个由循环的循环联系起来的网。

游离氧的出现和积累，为生物功能的发展创造了条件，促进了生物由无氧生活过渡到有氧生活，从厌氧生物分化出好氧生物，出现了代谢水平较高的有氧呼吸作用，化石证据表明，在地球大气转变为氧化型大气时期，生物的进化速度有了很大的跃进，生物在大约5亿年前出现了真核细胞。

真核生物的出现，是生物从简单到复杂、从低级向高级发展的又一个里程碑。真核细胞在结构和功能上的复杂化，成为生物类型多样化的基础。真核生物大约在10亿年前开始出现有性生殖，这又加快了有机界的进化，进一步使得有机界变得丰富多采。多细胞生物的微化石，最古老的年龄达到7.5亿年。5.8亿年前，开始了化石丰富的寒武纪。大约4.5亿年前，陆地上已布满了植物。大约4亿年前，动物也登上了大陆。这一切，可能都要为大气氧的屏蔽作用记上一功，而大气氧又是由生命的发展造成的。生命，不只是消极地适应环境，也在改变环境，为自己的发展创造出前提条件。

生物的发展决非一往直前的线性律过程，而是一个不断分化出新形态、发展起新分支的过程。作为真核细胞自然发展的结果，发生了第一次重大的分化，出现了动植物两大发展分支。

植物界的发展经历了多次分叉，而且“形态越高，进化就越快。”[1]陆生植物大约出现于4亿年前，最先是从绿藻分叉发展起来裸蕨植物和苔藓植物。约3.5亿年前取而代之的是蕨类植物。到了约2亿年前，由种子蕨发展起来裸子植物。稍后约1.5亿年前，种子蕨发展分叉的另一分支——被子植物出现了。被子植物具有更完善的组织形态和以花为基础的更有效的繁殖方式，成为高等植物中最成功和最丰富多采的类群。丰富多采正是频繁分叉造成的。

不断分化，不断发展，形态越高，进化越快，这在动物界表现得更是淋漓尽致。动物进化的主干是从无脊动物向脊椎动物的发展。当原始两栖动物在3.5亿年前步植物后尘登上陆地时，动物界早已经历了一系列的分叉。首先是从原生生物分化为海绵动物和腔肠动物两个分支。然后是从两侧对称动物发展起原口动物和后口动物两支无脊椎动物，其中原口动物最后发展成为节肢动物，而从后口动物的棘皮动物则发展出脊索动物，进而演化出脊椎动物（原始有头类）。进一步的发展中又出现了分叉，其中一支有颌类在4亿多年前发展演变出棘鱼，并在形形色色的分叉中形成了鱼类，两栖类就是由其中的总鳃鱼分支演变而来的。古老的两栖类一支发展成为现代两栖类，另一支则约在3亿年前发展成为爬虫类，成为真正的陆生动物，它们于两亿年前在陆地上盛极一时，分叉形成的恐龙就是当时雄居海、陆、空的爬行动物。鸟类也是从爬行动物进化而来的，出现在距今约1.5亿年前，始祖鸟被认为是从爬行动物到鸟类的过渡类型。原始的哺乳动物虽然体小如鼠，当时具有脑子发达以及恒温、胎生、哺乳等优越之处，比其他种类的进化迅速得多。哺乳类的许多重要的目是在最近五千万年里分化出来的。

在哺乳类中，从猿到人的发展不过是数百万年前发生的。猿的

---

① 恩格斯．自然辩证法．北京：人民出版社，1971年，282

发展和从猿到人的发展都经历了一系列的分叉。按照今天的一般看法，从古猿群分化出真正的猿人——阿法南猿的时间约为400—500万年前，其发展中的分叉产生出非洲南猿分支和向人类发展的分支。

从原始人发展到能人，经历了数百万年之久。能人以熟练的工具制作技能促使原始人朝下一阶段过渡，经数百万年发展到直立人阶段。直立人的石器制作技术有了很大的进步，学会了用火，体质形态明显进步，脑量大为增加。大约距今10多万年进入了最后一个演化阶段即智人阶段，智人主要生活在距今7万到2万年前，很快就有了现代人的面貌，在很短时间内获得了巨大的变化，他们掌握了人工取火，在石器制作技术上有了大的创新，发明了弓箭，还发明了构筑简单的房屋，学会了缝制衣服。到了现代人阶段，人类进化一日千里，使过去的一切有机体的进化都相形见绌。

## 6.3 人的起源：系统进化和组织活动

人是自然演化的产物，是从猿的一支发展起来的。但是人的起源决非仅仅是个体意义上的生物学进化的产物，更重要的是系统进化意义上的社会性产物。

20世纪的人类学研究，包括考古的许多重大发现以及运用多种学科提供的先进方法技术，使我们对于人的起源问题的认识有了很大的进展，一些缺失环节逐渐填补起来。生物学分类上，人科已推测到上千万年之久，人工工具出现已有了二三百万年的历史，更为精致的“阿薛莱安工具”也有150万年之久。[①] 中国元谋猿人的化石年龄为170万年，旧石器和用火遗迹则表明了元谋猿人的活动。

在低等动物的水平上，我们已经见到动物的“社会性”现象。在

① S. L. Washburn. 人类的进化. 科学（中译本），1979年11期，99—108

较高等动物的水平上，尤其是猿类，更有了较高级的社会性组织现象。猿类已经成为一种具有较发达的社会性本能的群居动物，猿群中形成了比较稳定的等级关系，在竞争中产生出最优能力的猿作为首领，成为猿群保持生存和稳定的重要手段。雌猿与子女间形成了比较牢固的育嗣关系。黑猩猩的母子兄弟姐妹之间终生保持亲密关系。在猿的群体中，个体对于亲缘关系已能识别，个体已能确认自已在群体中的地位，这些都显示了猿群的系统组织性，显示了人类社会的萌芽。

在环境变迁，尤其是冰河期那样突然而至的严峻生活环境下，猿群为了生活被迫下地生活，改变了获取生存资料的方式，不得不借用天然器械如树枝、石块，以群体的力量来抗击凶猛野兽的侵袭，并获取食物。猿被迫从相对松散的群体进一步结合成为更加紧密的群体，提高了获取生存资料的能力，猿群的系统组织性从而得以加强。

综合进化论的奠基人杜布赞斯基(T. Dobzhansky)说的好：与纯粹的自然演化相区别，"而人是靠制造飞机而不是靠改造他的基因型而变成一切飞行者中的最强者的。"[①] 这正是恩格斯在"劳动在从猿到人的转变中的作用"一文中，从哲学高度对人的起源奠定的本质上正确的答案："我们在某种意义上不得不说：劳动创造了人本身。"[②]

劳动是维持生存的基础，因而是生活的基础。真正意义上的原始人的生活，最基本的就是劳动生活。而"劳动是从制造工具开始的。"[③]劳动的产生、工具的出现，标志了人从动物界的分化出来，标志了人——更确切的说是原始人——的起源，标志了人的生活的开始。人的起源、劳动的产生、工具的出现，不可分离地交织在一

---

① 转自：E. Mayr. 进化. 科学(中译本)，1979 年 11 期，11

②、③ 恩格斯. 自然辩证法. 北京：人民出版社，1971 年，149、154

起的(姑且不论同样极为重要的语言、社会等因素)。没有人,哪有劳动?劳动是人的劳动,人在劳动之先。同样的,没有劳动,哪会有人?劳动使猿变成人,劳动在人之先。机械的、线性的、单方面的看待这些问题,而不是有机的、非线性的、系统的来认识问题,都会觉得难以理解,以致只会把它当做一种悖论。这实质上是一种互为因果的反馈循环关系,相互之间存在的反馈作用才是这里的终极原因。

恩格斯说:"没有一只猿手曾经制造过一把哪怕是最粗笨的石刀。"[①] 本世纪60年代,珍妮.古多尔深入原始森林对黑猩猩进行了多年的观察,发现黑猩猩可以使用天然工具,"但是,从来没有发现过,黑猩猩能用一种工具制造另一种工具。"[②] 而且,实验室研究表明,人给予示范,教黑猩猩制造工具,黑猩猩也学不会;尽管在实验中可以教会黑猩猩打手势语,按键盘造句子,从而表现出某种思维能力。[③] 人手制造出来工具,人是制造工具的原因;工具制造使猿手成为人手,工具制造是人的原因;这又是互为因果的反馈循环关系。循环未形成之前,在先的是天然自然物和猿;循环一旦形成,再问何者在先就是片面的,因为人工自然物和人一起出现,是一种相互依存的缺一不可的关系。

真正意义上的劳动,还决非仅仅是个体意义上的劳动,而更重要的是集体意义上的、社会意义上的劳动。劳动推动了猿群的系统组织性,推动了猿从本能地组织起来,向自觉地组织起来发展,也就是从猿的社会性向人的社会性发展。一方面,社会性推动了猿向人的转变,社会性是猿向人转变的原因,猿向人的转变是社会性发展的结果。另一方面,猿向人的转变推动着这种社会性的发展,猿

① 恩格斯.自然辩证法.北京:人民出版社,1971年,150

② 珍妮.古多尔著,刘后一、张锋译.黑猩猩在召唤.北京:科学出版社,1990年,279

③ 任仁眉、胡单编著.动物的智慧.北京:科学出版社,1990年,131—154

是社会性发展的原因，社会性发展是猿向人的发展活动的结果。这里，也是一种双向反馈的因果关系，是一种联系之网，割裂其中的任何一个方面都会造成片面性。离开了以系统的方式来理解人的起源，也就不能真正理解人的起源。

从猿到人的转变是一个过程，同样，人的精神的起源也是一个过程。动物有没有智慧，达尔文在他的《人类的起源和性选择》一书中举出许多例子来给与了肯定的回答。我们也可以从上述的文献[1]《动物的智慧》一书中窥见更多的形形色色的有关当代新发现、新的研究成果。事实上，石头可以对外界的作用有物理的、化学的反应，化学耗散结构有了对历史途径的“记忆”，细胞已经可以伸出伪足，动物特别是高级动物——例如狮群、狼群捕食的“迂回埋伏”表现出某种预测和计划，……这一切都提示了从反应性到意识性、精神性的进化有连续性。没有动物的智慧，就不可能发展起人的智慧。海克尔(E. H. Häckel，1834—1919)早已看到了这一点，他的不足是只将其当作一个量变过程而未能看到这个过程的质变。恩格斯也指出：“不用说，我们并不想否认，动物是具有从事有计划的、经过思考的行动的能力的。”[2]

人的精神的起源，也只有在系统意义上才能真正得到理解。作为个体的意识，它与个体的肉体存在密切联系在一起的，是个体有机体的机能。作为集体的意识，它是与社会联系在一起的，是社会的机能。特别是，精神系统的产生既不是一蹴而就的，也不是天上掉下来的。而是在社会性劳动的推动下，在社会性劳动之中产生的。社会性的劳动中，交流的需要，即信息通讯的需要，推动了语言的起源和发展，从而极大地推动了精神现象的发展。现代系统科学已经自觉地认识到，信息是社会的胶合剂。这种系统演化也有一个

---

① 任仁眉、胡单编著. 动物的智慧. 北京：科学出版社，1990年

② 恩格斯. 自然辩证法. 北京：人民出版社，1971年，157

对于猿的精神现象的扬弃过程。皮尔比姆(D. Pilbeam)写道："能够制订计划和对事物有所预想，集体合作与记忆力，所有这些全都是人科行为的特征，也是人科取得成功所必不可少的条件，所有这些变化，看来很可能是在人科过渡到在相当开旷的原野上，以狩猎和采集食物的方式生活过程中产生出来的。人科在这种新的生活方式中，狩猎活动的确要求它们具备上述各种特征，但是不可忽视的是，人科在从事采集食物的活动方面，也同样要求它们具有这些特征，人科生活在季节性变化的气候条件下的草原或林地草原上，要想采集到足够食用的植物性食物，也同样要求当时的人科，具有一定的技术能力，有对地形、地势的知识，能够制订计划和保持记忆的能力才行。"[①] 这就是要具有并运用关于自然的知识，毋宁说是关于自然规律的知识，纵然其总体上是本能式的。看不到人猿相区别是糊涂的，不承认人猿相连续则是自负的。

总之，无论从何种意义上来讲，对于精神现象的理解，也必须在系统的意义上来理解。

而且，作为知识形态的精神现象的起源，也是这种系统性演化的结果。这里可以就科学的起源来作一探讨。

科学史家认为，科学是与人自身、人的生活一起出现的。仓孝和的《自然科学史简编》一书第一章第一节的标题就是"原始社会究竟有没有科学"。他认为："自从有了第一群制造工具的人，人类的历史就开始了，科学的历史也就开始了，科学史是和人类的历史同样久远的。"[②] 美国科学史家萨尔顿(G. Sarton，1884— 1956)在1970 年出版的八卷本《科学史》的第一卷的一开始就说："科学从何时何地开始？不管何时何地，当人们尝试着解决生活中的无数问

---

① 皮尔比姆著. 周明镇、周本雄译. 人类的兴起. 北京：科学出版社，1983 年，18

② 仓孝和编著. 自然科学史简编. 北京：北京出版社，1988 年，4

题的时候，科学便开始了”。[1]丹皮尔（W. C. Dampier）也写道：“物理科学的起源可以追溯到对于肉眼可见的天体运行一类自然现象的观察，可以追溯到人们用来增进自己生活的安全和舒适的粗笨器具的发明。”[2]

以制造工具为起点和标志的劳动，使得劳动主体能够在自然界打上自己意志的印记，随着劳动的产生和发展，猿也逐渐完成了向人的转变和提升。从最初本能地运用天然工具，进一步发展到起初是偶然地、然后成为有意识地制造工具的过程，也就是从猿的本能地适应自然的智慧，飞跃进步为人的智慧的过程，同时也是从猿的作为意识到的本能的应付环境所需的因果观念，演进为人的关于自然界的、关于行动和后果的因果观念，规律性知识也就在其中了。总之，就是从猿的作为意识到的本能应付环境的知识，进一步演进到起初是零散的、随后成为有条理的关于自然的知识的过程。这种所谓的有条理的知识，就是从最初的关于天然自然物性质的认识变成了可重复运用、可创造出人工自然物并可传给他人的知识。人工工具的诞生，正是人的技术发明的起点，也正是（原始）科学知识诞生的标志。由此可见，我们也不得不在一定的意义上说，劳动创造了科学本身。人的劳动的起点，也就是人的起点，人的科学的起点。

每个时代的科学思想都在那个时代的技术中得到反映，同样的，每个时代的技术都会反映那个时代的科学思想，而且这对于远古时代也是同样适用的。正是人的有意识地制造工具的实现，有条理的关于自然知识的形成，也就诞生了真正意义上的原始科学。这个由零星的、个别的、不稳定的、靠观摩模仿为主的知识变成为有条理的、共有的、稳定的、靠学习获得为主的知识的过程，诚然是一

---

① 仓孝和编著. 自然科学史简编. 北京：北京出版社，1988年，8

② 丹皮尔著. 李珩译、张今校. 科学史. 北京：商务印书馆，1987年，9

个漫长的过程，但是，过程的长短、时间的快慢并不能掩盖问题的本质。而且，原始科学知识尚未与技术发明分离开来，是和技术融为一体的。用今天的眼光来看，这种知识是十分肤浅、极其原始的，甚至难以称作科学知识，但是我们今天关于自然的博大精深的知识体系、恢宏的现代科学知识大厦，正是在这种原始的科学知识的基础上一步一步地发展起来的。科学并非永恒不变的偶像，科学本身是历史的、具体的，有其自身的时代性。就其起点而言，我们不得不承认，科学起源于推动猿向人转变的社会性劳动之中。

总之，人是大自然的自组织的产物，一旦这个具有高度能动的生物之灵产生出来，他就能够反过来对于自然环境、对于自己的群体、社会进行组织，工具就是时代的人对于自己环境进行组织的能力的标志，科学则正是为了更好地认识自然、发现规律以更好地进行"组织活动"的人类社会活动。

序参量就是我们的思想，子系统则是大脑神经元网络的电化学过程。

哈肯《协同学——自然成功的奥秘》

# 7 精神系统观

精神表征了物质系统功能发展的最高阶段，人的精神是高度组织起来的物质系统——大脑的机能，是大脑进行信息加工的能力，是对于人的社会存在的反映。从系统观点来看，精神也是自然界物质系统发展的产物，也有它的发生和发展的自组织过程。

## 7.1 精神系统的发生：从反应到反省

系统自组织理论的研究表明，即使是最简单的自组织系统，也具有以某种方式加工信息的能力，能够通过序参量支配整体的行为，并表现出对于历史的记忆。这一切都表明，简单的非平衡非线性自组织系统，也表现出某种与精神现象相一致的东西，标志着物质运动发展起来精神现象的起点。因为，自然系统的自组织是自然界的普遍的现象，而且是以物质的普遍的反应特性为基础的，由此精神的发展就并非神秘的东西，而是自然界的必然现象，正是由这样的前精神现象发展起来的。自组织系统可以"意识"到自己的行动方式，并在整体上对于自己的行动方式进行调节。一个化学的耗散结构，是一个对于环境有相对独立自主性的系统。这样的耗散自组织的形成需要有一定的临界尺寸，但是在满足这个临界尺寸以后，其环境的大小却不会对于该耗散结构的形式(这里没有考虑这种系统的持久性，即没有考虑系统与环境的持久交换问题)，仍然出现同样的耗散结构系统。这就是说，耗散结构的出现有其一定的

自主性，似乎表现出一定的"自我意识"。

随着小分子的化学耗散自组织发展到大分子的耗散自组织，自组织系统的这种最初的前精神现象也得到了相应的发展，直至最初的原始细胞的出现，化学耗散自组织的前精神现象就发展到其顶点。

即使是最原始的细胞，由于有了细胞膜，因而能与环境真正相区别，细胞的独立自主性得到很大的发展；细胞膜还使得细胞与环境的有选择地进行交换成为可能；细胞内拟核区的形成，使得信息处理的集中化成为可能。像变形虫这样的最原始的单细胞动物，它虽然不含任何神经成分，但是它可以依靠原生质直接感应刺激、传导信息和作出反应，伪足的伸出表明这种对于外界的反应已不是纯粹的被动反应，已有了一定的主动性。特别还有，其细胞浆的表里分化于是有了神经组织的产生，神经组织是由表层演化而来的。由于自主性、加工信息能力的提高，已经出现了某种原始的刺激感受性，开始了某种极为低级的探索外界的行为，并分化、产生出神经组织的萌芽。这就表明，最简单的生命系统已经不仅仅停留在前精神现象阶段，已经向前有了较大的发展，进入了萌芽精神阶段。

萌芽精神现象从前精神现象发展而来，又进一步向前发展而去。这个发展，在物质系统上，表现为从神经系统向脑的形成和演化。

当发展到两个胚层的原始动物时，如水螅这种腔肠动物，网状神经系统便出现了。自主性有了进一步的提高，对环境的适应性也有了发展。

随着三胚层两侧对称原始动物的出现，分叉也出现了。在原口动物的分支方向上，进化到扁形动物时，神经结构开始出现了集中与分化，涡虫的身体前端就形成了明显的脑神经节，向后形成了梯形神经系统。脑神经节的形成，预示了脑的产生。到了环节动物，例如蚯蚓外形上有了明显的头部，头部有一对特别大的神经节

——咽上神经节，这是脑的萌芽。其身体的每一环节有一对神经节，各神经节之间由纵行神经联系形成了神经链，即形成了链状神经系统。原始脑的萌芽以及神经细胞之间的"突触"联系的形成，使动物对于外界的反映形式有了进步，使神经系统功能有了发展，已能对信号刺激进行反应。

分叉的另一分支上，出现了脊索动物，包括原索动物和脊椎动物。脊椎动物是动物界的最高等类群，其身体中轴具有许多脊椎骨连接而成的脊椎，并有发达的头部。各类脊椎动物的神经具有统一的形式，神经中枢呈管状，外观不分节，前面为脑，后面为脊髓，脑与脑神经相连，脊髓与脊神经相连。脊椎动物的神经中枢呈空心的管状具有极为重要的意义，为神经中枢向更高级、更复杂、更完善方面发展准备了条件。由于管状结构扩大了神经系统的功能活动所需要的空间配制，有利于神经组织的物质交换，因而为神经系统的结构与功能的演化提供了基础。脊椎动物的管状神经系统已经有了中枢神经系和周围神经系的明确区分。神经系统在脊椎动物身上不再是次要的东西，而是整个机体的控制网络，整个身体都聚集在神经系统的周围，因此便有了发展到自我意识的可能性。

脑的出现，标志了精神现象发展的一个崭新阶段。动物的意识出现了，并进一步发展起来印象形式的意识，这已经是真正的原始动物的自我意识，从低等动物到高等动物，动物意识经历了进一步的发展。在意识的物质系统基础上，脑的进化经历了爬虫脑的出现、古生哺乳动物脑的形成和新哺乳动物脑的形成这样几个重要阶梯。

爬虫脑出现于大约 2.5—2.8 亿年前的爬虫动物。这是脑的进化中的一次飞跃，从此脑的信息量便超过了遗传的信息量，脑的进化价值超过了体质进化的价值。爬虫脑的出现，使动物个体的本能行为得以协调。一般认为，大约 2.8 亿年前，蛙那样的两栖动物已经具有了最初的印象形式的意识。在哺乳动物中，爬虫脑部分成为

爬虫复合体，是由一组包括嗅觉系统和其他部分的大神经节代表的。

古生哺乳动物脑可能产生于约1.65亿年前。从爬虫动物到哺乳动物，粗糙的大脑皮层有了进一步的进化，形成了边缘系统。边缘系统既协调动物体内世界的信息，也接受环境世界的信息；既协调着内脏的活动，也体验着感情和情绪，对个性的形成有重要的帮助。哺乳动物有非常发达的边缘系统，代表了大部分脑皮层，其复杂性远超过了嗅觉系统的复杂性，在视觉及其社会性行为的功能中起着重要的作用。

新哺乳动物脑很可能是在五千万年前最早的灵长类动物时期起源的，它主要由新皮层以及与之相连的脑干结构组成。新皮层的急剧增长是地球生命发展史上最惊人的事件之一，由于新皮层急剧增加，表面积强烈扩张，将进化早期出现的旧皮层（包括爬虫体和边缘系统）挤到大脑半球的内部，新皮层在大脑半球中表现出沟裂纵横、此起彼伏。特别是到了人类，大脑皮层的发展几乎是爆炸性的，登峰造极，几乎压住了脑的其他部位。

在进化史上，这三个层次的相继出现，反映了动物意识从生理水平上的意识进化到心理水平上的意识，再进化到反映水平上的意识。现代的人脑中相应地有这样三个层次，它们的协同作用就构成了知、情、意统一的人的意识的物质基础。20世纪70年代美国神经生理学家麦克林（P. D. MacLean）把高度进化的哺乳动物和人的前脑称为“三位一体脑”，以表示三种脑在同一个大脑之中其作用，它们相互密切联系并常规地互相协调活动。在此之前，贝塔朗菲也一再提到过类似关于的大脑层次的认识。[①]

精神现象是自然界长期演化发展的结果，正如我们在本书

---

① 冯·贝塔朗菲、A·拉威奥莱特．张志伟等译．人的系统观．北京：华夏出版社，1989年，133—147

"6.3人的起源：系统进化和组织活动"一节已经指出的，人的意识的产生有一个漫长的过程，而且特别还是社会的产物。这里，精神进化的全过程是这样的，从前精神状态发展到萌芽精神状态，从感觉发展到对于信号的反应，从意识发展到自我意识，终于有了自我反省的能力，依靠符号进行思维，创造出来一个符号的世界。

## 7.2 人的大脑：多层次、多分区的复杂巨系统

我们特别要从整体上考察一下人的精神的物质载体——大脑系统。

人的大脑是一个特别复杂的系统，成人的大脑重约1400g，约为体重的20%，大脑皮层由上百亿个神经元组成，整个大脑则由上千亿个神经细胞组成。每个神经元有上千个突触与数百个其他神经元相联系，它接受几百个乃至上千个神经元传来的信息，又把信息输送到成百上千个其他神经元，因此估计突触数量为100万亿，即意味着大脑的信息容量达到100万亿（$10^{14}$）比特。而且，大脑还是一个多层次、多功能区交织的复杂系统，各个层次、各个部位既是相对独立的，又是可以协同工作的，这样才使得这个系统具有巨大的信息加工能力，得以调控人类那样的复杂行为。

正如贝塔朗菲所说："在大脑和心理机能中，中心化和层次结构是靠分层而达到的，也就是说，靠起支配作用的高级'阶层'的最高地位而达到的。……人们会同意，总体地看，可以区分开三个主要阶层，或者说三个进化梯级。就脑而言，它们是①低等脊椎动物的原始脑，②新脑（皮质），包括爬行动物到哺乳动物，③某种'最高'中心，特别是人所持有的运动中枢的语言区（布罗卡区）和大面积联想区。同时，还有控制中心的前移……"，而且"心理系统的分

层有某种程度的平行性”。[1]按照上一节的结果，从层次结构上看，作为历史进化的沉淀，人的大脑中的三个基本层次，即古皮层（由海马及齿状回组成）、旧皮层（由嗅皮层及部分傍海马组成）和新皮层，它们大致相当于前面所述的三个层次：最内层的是爬虫复合体层次，次内层是边缘系统，最外层是新皮层。一般认为，在爬虫复合体层次，信息加工主要涉及到机体的生理活动，包括调节躯体、内脏活动，对环境作本能性适应等。在边缘系统，信息加工不仅涉及到调节躯体内脏的活动，还体验着感情和情绪，与记忆密切相联系，因此，这里涉及到机体的心理活动。最外层即是新皮层，新皮层的神经细胞约占整个大脑皮层细胞的96％。这里的信息加工不仅与机体的调节、情感和情绪的调节相联系，更重要的是与理智和智慧相联系，这里调节着认知、学习、意志、抽象、预见等高级的反映意识活动。

大脑外表面的大脑皮层表面积约为 2200cm$^2$，厚度约在 2mm—5mm 之间，以百亿计的神经细胞、为数更多的胶质细胞及神经纤维组织得很奇妙，神经细胞的排列很有秩序，这种有序的排列对于信息的处理是十分有意义的。根据细胞的形状，大脑皮层的神经元主要有的三种，锥体细胞、梭形细胞和星形细胞（颗粒细胞），其中锥体细胞最多。皮层细胞都是多极神经元，联系十分复杂，这反映了皮层功能的高度发展。各种细胞在皮层内的排列上，形态相似的细胞聚集成为一定的层次，由表及里一般有6层不同的细胞组织：1，表面层或分子层，大部分由细胞的树状突尖端组成，其下部有少量水平细胞。2，外颗粒层，由小锥体和星状细胞组成。3，外锥体细胞层，由中等大小的锥体细胞组成。4，内颗粒层，由小星状细胞和少量锥体细胞组成。5，内锥体细胞层，由大量大锥

---

[1] 贝塔朗菲．林康义、魏宏森等译．一般系统论．北京：清华大学出版社，1987年，204—205

体、中锥体和短锥体细胞组成。6，多形细胞层，由许多不同形状的细胞组成。

大脑皮层中机能紧密相关的细胞以垂直于表面的方式排列成柱状体，称为皮层柱。每一皮层柱自表层伸入脑内的达到下面的白质。对皮层柱的研究告诉我们，皮层对于接受到的信息的处理是局部性的。大脑皮层某一区域的活动，有赖于来自丘脑和其他皮层下结构以及来自其他皮层区和本身皮层区信息的整合，这些活动似乎都涉及到柱状体活动的形式。研究表明，大脑对于信息的处理主要是在垂直于脑表面排列的回路中进行的。皮层表面的Ⅰ—Ⅳ层主要是接受和处理传到皮层的信息。来自内外环境的各种信息通过各种上行传导束传入皮层。这些上行纤维主要与第Ⅳ层的颗粒细胞再与其他细胞进行广泛的联系，各种传入信息正是在这种局部神经元回路中进行分析综合、加工处理。皮层对各种传入信息的反应，主要是通过位于第Ⅳ层和第Ⅵ层的锥体细胞和棱形细胞的轴突组成的传出纤维来实现的，位置较深的这两层皮层细胞就是皮层传出神经元的起始部位。皮层传出纤维下行到低级脑水平和脊椎水平，继而调节和协调各种躯体和内脏的活动。这里实际上是一种多层次的互相协调的活动，每一个皮层点是一个信息处理中心，而整个皮层则是一个庞大的信息加工系统。

大脑不仅表现出许多层次，还表现出具有多个部位、多个功能区。那些本来属于低级脑部位的功能，在高等动物中逐渐向大脑皮层转移，机体的各种功能都在大脑皮层中有其最高调节中枢。大脑皮层通过对其他较低神经结构的调整与控制作用，成为机体一切活动的最高管理者和支配者。人的大脑皮层得到最显著最完善的发展，它不仅控制和调节人体的各种身体运动和内脏活动，而且还是思维的器官。

首先最为明显的是大脑分为两个半球。两半球之间由纤维组成的胼胝体相连，胼胝体大约长 8cm，约有 3 亿根神经纤维组成。

两个半球结构与功能是不对称的，特别是现在通过切断两半球之间的主要联系即胼胝体的病人——裂脑人的研究，更清楚地看到这种单侧化。实验表明，在信息加工过程中，每个半球主要联系并控制其对侧的身体，左侧半球长于智慧、推理、语言和分析思维，而右侧半球长于感受、情绪、非语言的直觉思维；左半球任务涉及陈述性记忆，而右半球则长于反映性行为。每个半球都能独立执行机能，但是正常的整合机能要靠广泛的联系，两半球的联合来维持。对裂脑人的研究还表明：意识、自我意识和其他高级加工并非是浑然不分的整体，它们在大脑上更像能力的镶嵌，经各部之间广泛的相互联系达到整合的一体化，即是一种系统的整体。

大脑皮层的分区有多种分法，一般采用的较广的是20世纪初由布罗德曼(K · Brodmann)提出的分类法，将其划分为47个区。其中主要功能代表区有感觉区和运动区，其中包括：运动代表区、体表感觉代表区、听觉代表区、语言代表区（包括运动性语言区和感觉性语言区）。对大脑因意外受到损伤进行研究，结果表明，某些功能例如视觉、听觉、讲话等等，都的确是由特定功能区域负责的。

但是，对于脑的功能定位不能作绝对的、机械的理解，在脑功能定位问题上，当代比较一致的看法是认为，定位不是机械的、绝对的，一般都有相互联系的中心区、外围区和交错区。在历史上，奥地利医生加尔(F · J · Gall)强调大脑皮质的作用，并划分了24个皮质区，奠定了颅相学的基础。尽管他的颅相学是错误的，为“催眠颅相学的江湖骗子”所利用，但是他的工作客观上却又推动了对于大脑功能定位的科学研究。正是在19世纪下半叶以来关于大脑功能定位研究的基础上，布罗德曼才在20世纪初提出了他的著名的大脑功能分区。现代科学研究揭示出，无论是运动、还是说话等等，人的各种活动的确是与一定的功能定位区有关，特定的区域起着主导、支配的作用，但同时又有许多不同的区域以协同方式起作用。这可以从实验上进行观察。因为大脑的活跃部分在活动中须

被供给较多的血液，所以，在相应的活动中大脑的局部的充血程度是不一样的。观察表明，对于种种不同的活动，充血涉及到大脑的许多区域，但程度不一样，一般在功能定位区充血程度最高。因此，这就表明思维活动决非仅仅涉及到某一特定区域，而是涉及到多个区域的合作，涉及到的是集体的效应。

正如大脑的层次结构是历史进化的产物一样，大脑的机能定位也有一个发展进化过程。在低等的哺乳动物那里，低等哺乳动物脑中只分化出了几个不多的基本分析器，这些部位还未分化成功能定位区，各分析器之间也是比较混沌的，没有明显的界限。到了类人猿那里，类人猿的脑已经进一步分化为中心区、外围区，还形成了交错区，已经向人脑接近。但是，进一步的分化和分化的进一步的完善，并且形成十分协调的关系，只有到了人类出现以后才得以完成。例如，只有人类才在分析器核心区外围部位和运动皮质外围部位分化出高度专门化的区域，这些区域对于不同形式的对语言机能有专门意义的刺激进行分析和综合。在听皮质后部分化出处理口语感受的威尼克中枢，在视皮质外围区中分化出处理感受语言的视觉成分的区域，在前运动区部位下分化出布罗卡中枢，这是把口语分音节改变为复杂的顺序性综合体的区域，等等。这些都是猿脑所无法比拟的。

## 7.3 大脑系统的信息加工：混沌中的突现

精神现象本质上是一个信息过程，是一个信息接收、存储、加工处理、输出、反馈的过程。正如上一节我们已经看到，大脑是一个多层次、多功能、网络化的复杂信息通讯巨系统，正是这样的一个复杂巨系统提供了巨大的信息加工能力。大脑的信息加工也相应地是一个极为复杂的过程，既有各层次、各功能区的相对独立性，又有它们之间的相互联系性，是一个多层次、多功能区、多重反馈的协同作用过程。

用协同学的言语来说，大脑系统的多层次、多功能性即意味着，每个层次、每种功能区、都有其自己的若干个序参量，有其相对独立性。同时，大脑系统的网络化又表明，这样的各种层次、各个功能又是相互作用的，即种种序参量又是相互作用的。序参量的相互作用，其结果是又要产生出更高级的序参量。

精神与物质具有相对独立性，夸大精神的相对独立性最终就会把精神看作脱离物质而存在的东西，另一个极端即把精神看作物质的东西也就实际上不承认精神的存在了。在系统观点看来，正如哈肯指出的："根据系统学的观点，身体与精神终究是相互依存的。"[①] 协同学还认为，思维以具有一定结构的物质系统为基础，但本身并不归结为该物质系统的结构，而是这样的物质系统的自组织运动过程，也可以这样来理解："序参量就是我们的思想，子系统则是大脑神经元网络的电化学过程。"[②]这里有不同层次、不同功能的序参量，也就是意味着有不同层次、不同性质的精神现象，而人的意识实际上是这多层次、多方位的精神现象的综合体，序参量并非通常意义上的物质实体，而是系统过程意义上的动力学序或动力学方式，相应的可以说，人的意识现象也就是多层次、多方位精神现象的自组织系统动力学序的综合体。

例如，在人的认识活动中，感官接受外界的信息通过特定的通道进入大脑皮层及深层结构，在大脑皮层各特定区形成感知印象，一方面进行整合，一方面下达到深层结构。整合过的感知印象进入更高级的整合区，成为思维的材料。高级整合区与深层结构发生联系，不同功能区协同合作，形成情绪、情感、意向、意志、决策，最终得出个体的思维的产品。这是一种知、情、意的统一，如果进一步考虑到大脑系统的组织结构——无论是组织层次上还是功能组织上

---

①、② 哈肯．戴鸣钟译、谢雷鸣校．协同学——自然成功的奥秘．上海：上海科学普及出版社，1988年，174，174

都包含着一定的历史因素，那么这里更是以多层次、多功能区协同工作形式表现出来的内含历史因素和逻辑因素的统一。更具体一些来看，情况也是如此。例如，从神经生理学角度，也可以观察到支配着神经系统协同现象的机构。传达兴奋性信号的神经细胞形成了联成一串的闭合回路（反射波回路），回路中的一部分受到刺激后，在回路内巡回的兴奋信号得以长时间维持，这就成为了序参量，同时，其余的许多信号实际上就是作为快变量在传播过程中逐渐衰减了；结果是包含着反射波回路的神经回路内部，以特定现象启动的方式形成时间、空间上的某种有序模式。

关于记忆，迄今仍然是一种假说林立的局面。记忆分子说把记忆归结到保持在特定的分子上。焊接说认为脑神经系统中各种记忆路线是现成了，记忆无非是把路线焊接起来，短时记忆采取了选择性的暂时通道，长时记忆则是焊接起来的通道。艾克尔斯（J·C·Eccles）提出的是突触效应假说。普里布拉姆（K·Pribram）把记忆比作全息成像，成为全息记忆假说。与神经学家注重探索记忆的载体不同，认知心理学家则主要探讨记忆的模式。早期人们以线性模型来理解记忆的信息加工过程，后来进一步发展起来多向的、相互作用的模型。20世纪60年代、70年代提出的有网络模式、特征比较模式、集理论模式、大结构模式、结构类型模式等等，80年代又进一步提出了建构记忆模式等。

在系统论看来，也许还应该从系统的自组织——大量子系统协同学产生出序参量而序参量反过来又支配系统来理解记忆。我们知道，人的记忆一般分为感觉记忆、短期记忆和长期记忆，感觉记忆的作用时间以毫秒计，短期记忆的作用时间以秒计，长期记忆的作用时间可以很长。这也就是由大量子系统经过自组织逐步形成序参量的过程，首先形成的是初级的序参量，进而形成二级序参量，最终形成了高级的序参量。而高级的序参量具有了较大的稳定性，从而得以在作为信息处理系统的大脑系统中以一定的方式打

下了自己的印记，使得下一次系统容易出现这样的运动模式或这种模式的信号较强，即记忆的信息得以提取出来。在系统中打下自己的印记，一方面并不排除与某些特异化的物质或对于系统要素造成某种改变有关，但作为一种系统的印记决不会仅仅记录在若干个分子之上，即如同现在的计算机把信息记录在磁盘上那样。

非线性系统混沌现象的发现以及研究提出了这样的问题，健康以及思维是混沌吗?混沌提供了系统的动态的稳定性，非线性自组织系统可以在动态之中实现自我调节、自我稳定，使得系统可以抵抗小的扰动，灵活地应付环境的变化。过去人们自觉不自觉地认为，正常的心脏的跳动是规则的，当心脏的跳动不规则时就意味着心脏出现了毛病。而混沌的研究结果却全然令人意外地指出，正常心脏的跳动实际上是混沌的，其周期是在一定范围之内变动的，是规则性与不规则性的统一体，行为复杂得不可能作精确的预见，恰恰相反，一旦这样心跳运动的变动性消失，变成不复杂的、很规则周期有序状态，就意味着这个系统出现了毛病。对于大脑系统也是如此。对于健康人和精神病患者的脑电波进行分析表明，精神病患者的脑电波呈现明显的周期性，而健康人的脑电波则近乎于随机信号，而且，混沌态的大脑活动模式可以很快发生转变，出现新的模式，特别是大脑在进行搜索时迅速不断出现新的模式。拉普(Lapp)做过一个实验，让一个具有高低音节奏能力的人记数听高音节奏，发现可以通过脑电图分析精确区分出那些他在注意听，那些他没有注意听，因为他在注意听时，大脑活动搜索目标处于较低复杂状态。因而，据称气功师的大脑不可思议地处于高度的混沌态。

思维是混沌吗，从上面的所述看来，情况可能就是这样。如果情况真是如此，是不是思维的创造性、能动性最终也要从这里寻求答案呢？这就是说，大脑系统在自组织的混沌运动中，模式迅速地发生着改变，突现出极为多种多样的可能模式，这个可能模式世界

以致实际上比我们所要用到的模式——包括由我们的经验认可的模式和我们的推理能力所认可的模式——要丰富得多。但是，由于我们缺乏这样的经验或我们的逻辑能力在眼下并不认可这样的模式，于是其中绝大多数的模式都消失了，只有那些被我们的认可的模式才得以放大、强化，从而就作为系统的一种相对稳定的动态序即思想或意识出现了。这里，值得注意提及的是，可能的模式比实际上需要的模式丰富得多，这是具有深刻含义的。它可能意味着创造性思维的可能性，因为这里可能出现在人们的经验之中不曾遇到过的模式，即从思维的角度看来是全新的东西。它也意味着思维的能动性的物质过程基础，即在一定已有基础上的思维的创造，即思维过程实际上是以过去的记忆为基础的进一步的自组织活动，从而构造出可能的未来。贝塔朗菲一再说："机体不是一个被动的系统，而是一个内在的能动的系统，甚至没有外部刺激也是如此。……刺激(即外部条件的改变)并不在惰性的系统中引起变化过程；它仅仅在自主的能动系统中修改变化过程。"[1] 他也借用过开放系统的自组织能力来尝试说明这一切，现在关于开放系统的自组织的深入的研究别表明，情况可能如此。

在实际情况中，人的认识活动要比这里所说的更为复杂。因为人的意识不仅仅是由一种生理结构的能力，同时还要受已由的认知结构的影响。从发生上讲，人的认识不仅仅是大脑系统进化的产物，而且是社会系统进化的产物。人的认识是能动的反映过程，这是唯物辩证法认识论的一条最基本的结论，现代系统科学的新进展，对于人的认识问题的研究深化，为这一条唯物辩证法认识论的基本原理提供着新的论证。

在系统观看来，精神或意识，既有对立性又有同一性，对立不

① 贝塔朗菲. 林康义、魏宏森等译. 一般系统论. 北京：清华大学出版社，1987年，204—205

过是相对的。贝塔朗菲指出："传统的笛卡儿哲学的二元论，不论是对直接的经验来说还是对物理学科学（神经生理学）和心理学的结构来说，都不可能再坚持下去。"①

## 7.4 精神系统的模拟：人工智能研究

最一般地说，人工智能是以物质系统来模拟人的思维，人工智能研究相应地就是对于智能物质系统特别是机器智能技术的研究。

产业革命使用机器生产使得人的体力得到了放大，人们进一步力图以机器将人的脑力给予放大。莱布尼茨在已经试制过一架数字计算机并提出了"通用语言"理想，试图将一切推理归化为简单运算。

布尔（G. Boole，1815—1864）于 1845 年发表了"对思维规律的探讨"一文对于思维的形式作出了明确和有系统的回答，布尔代数可以称为第一种这样的"通用语言"。尽管从今天看来，人的思维并不仅仅局限于布尔所描述的形式——二进制形式，甚至大部分不是，但他的工作的确是人工智能的先驱性工作。

1937 年，年仅 24 岁的图林（A. M. Turing，1912—1954）发表了关于"理想计算机"即图林机的论文，令人信服地论证和说明了任何需要精确地加以确定的计算过程都能够由图林机来完成。他证实了：可计算性与图林可计算性是等价的，任一可计算的过程能够具体地表现在一个算法中，并且仅当它能够被一台图林机所实现。按照图林的方法，一个算法在质上增加复杂性的问题就变成在量上增加为完成算法所需要的存储量和时间问题，这就解决了如何设计一种机械性的语言的问题，为计算机软件科学奠定了最重

① 冯·贝塔朗菲，A. 拉威奥莱特. 张志伟等译. 人的系统观. 北京：华夏出版社，1989 年，95

要的理论基础。同时，它也为机器在理论上能做什么和不能做什么提供了一个精确的、严格的、机械的回答，从而也是人工智能的一项奠基工作。

20 世纪是创造奇迹的世纪，科学的大踏步的进步极大地推动了人类的解放，特别是电子计算机的发明，开创了人类模仿自己智力的历史新纪元。正是在图林的一切可以通过计算求解的概念基础上，冯.诺意曼用加法机器的概念构成了现代计算机的体系结构。这样的计算机被称之为冯.诺意曼计算机，其最基本特点在于，中央处理器严格按照规定的程序顺序，依据逐条执行指令，即以集中的、串行的方式处理信息；存储地址和存储内容是分开的；必须根据人已确定的阶梯步骤和编好的程序命令去执行相应的数值计算或逻辑运算。也就是说，从系统的观点看，机械式、串行式、被组织是这样的机器的基本特点。

1946 年，当第一台电子计算机问世不久，艾什比就提出了能否设计一个脑的问题。他在 1948 年发表“设计一个脑”，认为要制造一个有综合能力的脑，原则上没有什么困难，所需要的只是时间与劳动，而且他强调这种脑一旦制造出来，它决不只是鹦鹉学舌一样，相反，它还能够发展自己的智慧。以致这种智慧可以达到这样的高度：“建造一架能成功地应付比目前人脑所能处理的更复杂的情况的机器，就会改变我们目前的许多困难和混乱。在遥远的将来，这样的机器不仅可以用来迅速回答难题，并且可以探索目前人力所不能及的智力的微妙性和复杂性的领域。”①

艾什比的思想，得到维纳的支持。维纳在评论艾什比的上述思想时，把问题更尖锐地提了出来：能不能制造一台比其制造者更聪明的机器？维纳的看法是：“机器确实能制造得比其制造者更聪明，

① 控制论哲学问题集第 1 集. 北京：商务印书馆，1965 年，74

而在这一点上，我完全赞同他的见解。”[①]

1950 年，图林发表了“计算机与智力”的著名论文。对于机器能否思维的问题，图林对种种可能的反对论据，不论其是来自数学方面的、或是来自意识定义、神经系统的特性或行为形式化问题等方面的，他一一作了反驳。图林深信：“到本世纪末，人们可以谈论机器思维而不致遭到什么反对。”[②]他告诫人们：“在一切纯智力领域，机器将最终和人相竞争。”[③]

信息论的奠基人仙农稍后发表了“奕棋机”一文。他从当时所谓的“大型电子计算机”出发，从理论上探讨了机器下棋的可能性并预测其结局。通过比较，他指出，机器人的长处是速度快、精确分析每一步而无失误，也不受情绪影响；缺点是不能从错误之中学习。在他看来，电脑与人脑各有千秋；因此，“机器能够思维吗”这个问题就是一个“奕棋机能够思维吗？”对于这个问题的“答案完全依赖于我们如何定义思维。既然对这个词的准确内涵还没有一致的意见，所以问题也就没有肯定的回答。”随即他又补充道：“如果我们把思维看作是外部动作的属性而不是内部方面的属性，机器肯定是可以思维的。”[④]

系统科学奠基人们所提出的这些问题具有重要的历史意义。

1956 年，美国的纽厄尔(A·Newell)、西蒙(H·A·Simon)和肖(J·C·Shaw)吸收心理学的成果，提出了一个称为逻辑理论家(LT)的程序。这个程序不是刻板地固定算法程序，而是模拟了人用数理逻辑证明定理时的思路、规则和所采取的策略、技巧以及简化步骤，进而证明了罗素-怀特海著名的《数学原理》中第二章 52 条定理中的 38 条。从而被公认为人工智能研究的真正开端。

1956 年夏季在美国达特码斯大学正式以人工智能的名义召

---

①、②、③、④ 控制论哲学问题集第 1 集. 北京：商务印书馆，1965 年，62，112，137，148—149

开了一次学习讨论会，这次会议历时两个月，它标志着人工智能这门新科学的正式诞生。

由于电子技术的迅速发展，计算机迅速升级换代，从真空管式计算机(1946—1958)经过晶体管计算机(1959—1966)，再经过大规模集成电路计算机(1967—1979)，发展到20世纪80年代的超大规模集成电路计算机。计算机的运算速度相应从每秒几千次提高到每秒上亿次乃至上百亿次。这就极大地推动了人工智能的研究。尤其是进入20世纪70年代，人工智能有了较大的发展。电脑除模式识别外，可以理解简单的语言，能对专门问题求解，能学习。这时，人们不再一般地反对电脑可以模拟人的思维，而主要集中在电脑不能模拟人的创造性思维、能不能进行自我修复上。赞成机器能思维的学者主张，机器不仅能思维，而且也具有理性结构，所不同的只是人与机器的理性结构有别而已。人类的理性结构是定性的、连续的、多层次的、阶序的。相反，计算机的理性结构是定量的、离散的、线性的、操作的。进入20世纪80年代，可以认为，机器模拟人的逻辑思维已经成为现实。

还有，把人的认知看作信息加工过程的认知心理学的进展，也推动了对于人的思维方式和动物智能的研究。早期的实验心理学又称为意识心理学、心理主义心理学，以意识为研究对象，方法是实验控制下的内省。20世纪20年代美国行为主义兴起，主张以外部可观察的、可测量的行为为研究对象，采用严格的实验室实验法。早期实验心理学具有局限性，行为主义和生理学方向的简单化也不足以处理复杂的心理现象，于是在控制论、信息论和计算机科学的影响下，信息加工的观点便在心理学中应运而生。把人的思维看作信息处理过程，这个观点直接来自控制论、信息论以及计算机科学，但是它也从传统心理学中吸收了许多对它有用的东西。如早期实验心理学的测时法，新行为主义的假设演绎法，格式塔学派的现象学方法等等。认知心理学也研究行为，但实际上是以此为手

段，目的是了解内部心理活动，而行为主义则把研究行为视为目的。信息加工的观点提出的基本问题是，信息加工经过那些基本阶段？人类心理中信息是以什么形式表示的？它对此一般往往采用模型加以说明，用来表示人类心理过程和结构的某些主要方面。

再一方面，从生物物理学和仿生的角度来研究人脑的思维，即20世纪40年代开始从对于人脑的神经元及神经网络进行研究的工作。1943年，麦克卡洛(McCuiloch )和匹茨(Pitts)已经提出了形式神经网的数学模型，用逻辑的数学工具来研究客观世界的事件在形式神经网络之中的表达。而且，串行机的奠基人冯·诺意曼在20世纪50年代已经注意到计算机与人脑结构的差异，对类似神经网络的分布系统进行了许多研究。20世纪50年代、罗森布吕特(Rosenbueth)设计了三层结构的感知器，试图模拟动物和人脑的感知和学习能力，成为工程上实现神经网络的早期例子。尽管人们已经逐步发现串行机的缺陷，并在神经网络的研究中也取得了一些重要成果，但总体上由于这一时期人工智能的迅速发展和成果累累，掩盖了研制新型计算机的意义，有关神经网络的研究一度热情不高。到了20年代80年代，由于对传统的、基于符号处理的人工智能在解决工程问题时遇到了许多问题有了更深人的认识，使得人们更清楚地认识到，尽管现代的串行机具有优良的性能，但是在解决诸如模式识别、学习等对于人来说是自然而然、轻而易举的问题上显得非常困难，就促使了人们去思考冯.诺意曼结构机的局限性，也促使了人们去探索更接近人脑的计算模型，这就促使了人们对于神经网络进行研究的新热潮。事实上，现在神经网络的应用已经初步取得了进展，其成果已经渗透到智能控制、模式识别、信号处理、计算机视觉、优化计算、知识处理、生物医学工程等领域。

总起来说，神经生理学从认知的物质结构基础角度进行的是自下而上的研究，而(狭义的)人工智能、心理学则从宏观上自上而

下地研究认知行为和现象。神经生理学从微观入手可以研究神经元的活动，突触功能的联结，相应生化反应的性质等等。后一个方面，从脑在宏观世界表现出来的性质入手进行研究，如记忆的存贮和再现，学习、联想、问题求解、模式识别，以及在心理学上反映出来的情感、潜意识等等。而人工神经网络的研究却是介于两者之间，它试图从神经元的最基本性质出发，建立简化的数学模型和结构模型，研究由这些神经元按照一定方式联结起来所构成的网络的功能行为，包括学习记忆、感知等，并寻求各种适当的算法以图在工程上加以实现。

以下我们主要引用国际神经网络协会秘书长斯华龄（H. H. Szu）的有关论述进一步看一看神经网络问题。[①] 他认为，人工神经网络应具有以下基本属性：

1. 非线性。非线性关系是自然界诸规律的普遍特征，线性关系往往只是为简化问题而作的局部近似，世间的许多奇妙的事物都源于非线性。大脑的智慧就是一种非线性现象。基本单元是非线性的，而且单元与单元之间的关系也是非线性的。神经网络采取非线性连接，可使之具有更好的性能。

2. 非局域性。非局域性是自然界中事物普遍联系的一种表现。一个系统的许多整体行为不仅取决于系统单元的个性，而且可能主要由单元之间的相互作用、相互联接所决定。……大脑的智慧是大脑的整体行为，决定于神经细胞的整个连接网络，这就是大脑的非局域性特征。在人工神经网络的设计中，不再采用传统计算机的局域性记忆方式，而是以单元之间的大量连接模拟大脑的非局域性。这些连接通常是可变的，使神经网络能够进行学习和训练。自联想记忆，记忆内容存储在连接网络中，由输入局部信息或

① 斯华龄．电脑人脑化：神经网络——第六代计算机．北京：北京大学出版社．1993年，14—18

畸变信息可获得存储在网络中的正确的、完整的信息。结合异联想记忆，从探测到的大量数据中，挑选出有关整体性质的少数特征参量，传统上要进行大量计算，而这里进行的是大规模并行处理极大量信息的方法，效率很高。

3. 非定常性。宇宙万物处于永恒的运动之中，大脑的思维活动也在不断地变动演化，神经网络要具有智慧、能够发明创造，就不能处于定常状态，而必须是能够在某种程度上模拟思维运动的一种动力学系统。神经网络的动力学过程的一种典型实现方式，是采用迭代过程来描述的动力学演化过程。这里的吸引域大小、形状等因素与网络的容错性、自联想记忆的搜索过程相联系。

4. 非凸性。世界万物丰富多采，而且越变越复杂，这与非凸性有密切关系。一个系统的演化方向，在一定条件下将取决于某个特定的状态函数，例如能量函数的极值相应于系统比较稳定的状态，非凸性是指这种函数有多个极值，故系统具有多个较稳定的平衡态，这将导致系统演化的多样性。……优化问题一般也是非凸性的，即评估函数有多个极值。在一个局域范围内可以找到一个局域极值是局域优化，全局优化则要在全局范围内找到最佳极值。神经网络进行学习的过程涉及到的是一种全局优化问题。

5. 非？性。神经网络定义的最后一条用一个疑问号表达，其目的是强调迄今人们对于大脑思维过程记忆如何用人工神经网络进行模拟的问题了解仍然很肤浅，研究还很不充分，我们面临的是一个充满未知的新领域。

从斯华龄的论述中，我们已经可以看到神经网络系统与冯.诺意曼系统的根本性区别，这就是自组织与被组织、并行运算与串行运算、有机协同式进行与机械分步式进行的区别。也就是有机系统方式与机械体系方式的区别。

我们知道，日本在 1981 年 9 月向全世界宣布研制“第五代计算机”，并随后在 1982 年 4 月成立了“新一代计算机技术研究所”

以领导这项为期10年的研究发展。然而，经过10年的努力，尽管在若干方面有所进展，但从根本上说，日本人的原定目标远未能实现。这就使得人们进一步认识到冯.诺意曼体系结构的计算机的固有缺陷。所谓的第五代计算机，实质就是指在传统计算机硬件基础上发展的图林过程软件，以使传统计算机更有用，更有智慧。日本人又在原来的"人体计划"基础上提出了更富有挑战性的"第六代计算机"计划。计划的主要内容可以概括为以下3点：1、信息方面的深度智能化；2，计算机结构的神经网络化；3，支持硬件的高速光集成及超导化。这是第五代计算机的合乎情理的发展。美国国防部也在1990年提出了类似的建议。同时，美国的一些著名实验室和大学也在加紧这方面的研究。这是目前正在迅速发展的、全新的科学研究领域。

人工神经网络的研制属于第六代计算机，这里要把算法和结构统一为一体，是一种硬件与软件的混合系统，由于它大规模地模拟大脑的结构，故也可以称为湿件(wetware)这种系统具有更高的智慧并可能有更快的计算速度。基于冯.诺意曼思想的传统计算机其结构与大脑有根本的差异，而神经网络的结构则要尽量模拟人的大脑结构。当然，这里不应是简单的仿效，更不可能让人工神经网络包括大脑的全部功能和活动，目前看来主要是针对特定方面的模拟。

从这里已经可以看到，系统方法将在人工智能的新方向大有作为。综合地运用心理学、生理学、仿生学和系统科学的成果，功能模拟与结构模拟、宏观的"黑箱"方法与微观的"白箱"方法、"硬件软化"与"软件硬化"相结合，将有助于人工智能的进化，研制新一代脑模型和智能机。

人法地，地法天，天法道，道法自然。

《老子》第二十五章

# 8 生态系统观

生态系统是生命与其生存环境的综合体，地球上最大、最复杂的生态系统就是生物圈。随着20世纪下半叶以来对于人和自然关系的认识的觉醒，生态系统概念受到了越来越多的重视，人们的生态意识得到了极大的增强，生态概念也得到了更广泛的运用和获得了更丰富的内涵，发展起来人类生态系统概念。自觉地从系统论的观点来审视生态系统，就形成了系统论的生态系统观。

## 8.1 生态系统：天地生相交的有机体

地球上种种生态系统形形色色、千差万别，但同时也具有统一性。

生态系统可以划分为生产者、消费者、分解者和无机界四个子系统，各个子系统既发挥着相对独立的特定的功能，又有机地整合在一起使得整个生态系统形成协同的整体运动。

生产者主要指绿色植物，还包括单细胞的藻类和能把无机物转化成为有机物的一些细菌。绿色植物通过光合作用，把太阳能转化成为化学能、把无机物转化成为有机物，成为生物的食物和能量的来源，因此成为了生态系统的生产者。消费者主要是指动物。它们不能直接利用外界的能量和无机物作为直接食物，而以消费生产者为生。消费者之间又有不同的等级，草食动物以植物为直接食物，称为一级消费者；以食草动物为食物的动物成为二级消费者；以二级消费者为食物的动物则成为三级消费者。分解者主要是指

具有各种分解能力的各种微生物，也包括一些低等原生动物。分解者把动植物的尸体分解成简单的无机物，使得营养成分得以在生物和非生物之间循环。无机界可以看作为这三个子系统的环境，通过它们与环境的交换而发生作用。

总之，地球上的种种生物，它们可以划分为生产者、消费者和分解者，它们通过与环境的交换，或说通过与无机子系统的相互作用，依靠太阳提供的能源以及大气、水、土壤中的营养物质生存和发展，组成了一个处于不断演化发展之中的生态系统。这是一个天、地、生相互作用的复杂巨系统，是一个天、地、生之间密切联系的有机整体。

天地生相通，在古人那里只是一种天才的猜测。现代科学的发展，进一步揭示了这种天地人之间的密切联系。我们从宇宙演化的总图景之中，已经看到了这种联系。我们还可以从天、地、生的自然运动节律中窥见这种联系。①

自然节律是自然界的一种普遍现象。天体运行、昼夜交替、季节变化、星体脉动、胀缩交替乃至星体、星系的生灭转化，天体有天象周期。地球的整体旋转、大气圈的气象演变、古气候的变化和大小冰期的出现、水圈的洋流循环、海平面升降即海退和海进、岩石圈的大地构造旋回、火山与地震活动、岩浆活动、沉积作用、变质作用、成矿作用、古地磁轴倒转等地质旋回，地圈中有地象周期。各类生物的诞生期、发展期、繁盛期、灭绝期，例如6亿年来古植物经历了三大阶段、古动物历经五次大灭绝的灾变、每个生物个体的明显的生灭周期等等，生物圈中也有种种周期运动。

这种种的自然周期之中，天地生周期具有内在的相关制约性。例如，不同时间的尺度、不同等级的天文周期往往制约着相应的地质旋回。苏联学者巴鲁夫斯基在20世纪50—60年代系统研究并

① 参见：刘波著.天地人巨系统观.合肥：安徽教育出版社，1993年，226—265

阐述了地质旋回根源于天文周期的共振作用的假说。这个假说的基本出发点有两个，一是地质旋回与宇宙天体和天体系统的运动有关；二是地质旋回和行星、恒星、星系的运动周期之间有共振作用。他得出天文周期是形成地质旋回的根本原因的结论，合理地解释了天象和地象周期的相关制约关系。

又例如，自从生命在地球上诞生以来，动植物都经历过多次的兴盛和灭绝，这些兴盛和灭绝似乎也是受地表环境、宇宙环境的制约和影响的。古植物的几次强烈的分异，就分别与大造山运动和大冰期相呼应，也可能与更大范围的宇宙中的因素有关。显生宙动物发展同样有三个重要阶段：在寒武纪出现了无脊椎动物，石碳纪出现了两栖动物，白垩纪时恐龙等爬行动物由顶盛走向大灭绝，继而迎来了新生代哺乳动物的大发展。这三个纪的延续时间和间隔时间呈现出周期性，而且看来只能把这种周期性合理地假定为有某种更大宇宙范围的未知长周期作用于地球上的生态系统，譬如与太阳系在银河系的运行轨道具有一定的联系，从而引起周期性的大破坏。许多学者认为，地球上曾出现的 5 次生物大灭绝(晚寒武世、晚泥盆世、晚二叠世、晚三叠世、晚白垩世)，也可能主要根源于宇宙环境、宇宙因素引起的突变。

天旋地转，花开花落。暑往寒来，草荣草枯。生物体在同化作用中从无机物到有机物的合成—分解—再合成周期，是在"地质大循环"的环境之中由微生物、植物和动物共同完成的小循环。生物活动的"生物钟"生动反映生物节律运动，其中也包括在生物界出现的碳、氧、氮、磷、硫等致生物质循环。植物、动物物种的系统发育，都要经历周期性的变化过程，它们既受到生物体内自身内在的内源节律的制约，又受到天象周期、地象周期等外源节律的控制。生物钟运转的过程，包括了生命周期的发生、生长、发育、直至衰老死亡的全部历程。由此可见，全球生态系统和生物系统是一个被时间节奏贯穿的"生物钟"系统。地球生态系统和生物系统的生命运

动周期广义上就被称作生物钟，主要表现为各类生物的生长节律和寿命周期。生物钟现象，也体现着天地生的相互联系和相互作用。

## 8.2　人类生态系统：文明和演化

在最一般的意义上，人与自然的关系也是生态关系的一部分。人与自然组成的生态关系系统可以称为人类生态系统。

自从地球上出现了生命，生命就与其环境形成了生态系统。随着生命的演化，这个生态系统也在发生演化。直至人类出现以后，生态系统的演化就有了人类学的性质，就分化出来人类生态系统，并始了人类生态系统的演化发展。相应地，纯粹的天然自然界就逐渐被改变成了打上人的烙印的自然界、改变成了人的作品的自然界，即改变成了人化自然。黄楠森、赵光武把自然划分为六个层次：未知自然、初知自然、初至自然、人化自然、人工自然和人体自然。柳树滋则把人化自然划分为 4 个层次：Ⅰ，观测所及的自然界；Ⅱ，实践所及的自然界；Ⅲ，人造自然；Ⅳ，人工智能。它们之间存在着包容、隶属关系：Ⅰ⊃Ⅱ⊃Ⅲ⊃Ⅳ。[①]

人类生态系统有一个发生和发展的过程。人类生态的演替也经历了一个从混沌到有序、从低级向高级的发展。

原始的人只能紧紧抓住自然之母的直接馈赠，主要靠采集天然植物和猎取小动物为生。人们利用简单的工具来协助这种采集活动，如此低下的作用与自然的能力，使人的能动作用整体上对于大自然并无多大的影响。人们可能在局部地区造成了生物物种的改变，从而破坏了自己的食源，于是不得不进行徒迁。这实际上是人类最初造成的环境生态问题。但是，一旦人们迁出该地区以后，由于这样的破坏并不是很严重，并没有超出自然界自我调节的限

---

① 柳树滋著．大自然观．北京：人民出版社，1993 年

变，自然界依靠自身的净化、再生能力，自然界可以逐渐恢复到原来的动态平衡或发展起新的动态平衡，整体仍然基本保持一种自发的动态平衡。采集狩猎时代的人，还与自然保持浑然一体。

大约在1万年前的新石器时代，人类文明进入了到了农业文明时代，产生了农业和畜牧业。人们运用工具进行耕种播收，并开始驯养牲畜。人类的基本生活来源开始发生从消极地向自然界获取转变为积极地进行生产获得。稳定的生活资料的获得，改变了原始人动荡不安的徒迁生活，转入安居乐业的田园经济。这是人类发展史上的一次重大的变革，预示人类生态史也会相应地产生重大飞跃。按美国未来学家托夫勒(A. Toffler)的说法，这是人类文明史上兴起的"第一次浪潮"。

农业生产对于自然气候、土壤条件诸方面的要求，最先使得在中东的幼发拉底河和底格里斯河流域形成了古巴比伦文明，在古埃及的尼罗河三角洲形成了古埃及文明，在印度恒河和印度河流域形成了古印度文明，在中国的黄河、长江流域形成了华夏文明，以及还有中美洲的玛雅文明。它们都是"第一次浪潮"的产物。

农业生产的发展，大大提高了生产力，推动了人类社会的演进，也推动了人类生态的演进。安居乐业生产发展，刺激了人口的迅速增长，人口的增长反过来又刺激农业规模的扩大，推动对于农业生产地域的扩展和农业生产条件的改进。人们的足迹从大河流域深入内陆，从平原踏进山区，从温暖地带走进寒冷的极地。人们不能仅仅依靠自然的恩赐，也要尽量改变天然的自然环境，通过建造人工农业生态系统来实现稳定的农业收成，我国两千年前著名的都江堰水利工程，就是其中的范例。

农业人工生态的形成，适应了农业文明的发展。但是，人类对于生态系统的干预往往也造成了始料不及的后果，有时也达到如此严重的程度，以致破坏了人类自己的生存条件。4000—5000年前灿烂的巴比伦文明，长期以来认为其毁灭是外族人侵的结果，而

最新的研究表明，更为可能的是人类生态遭到破坏的结果。不合理的农耕，破坏了两河上游的森林，造成了气候失调，水土流失，土地沙化，终于造成了文明毁灭的悲剧。与巴比伦文明齐名的印度河流域的哈巴拉文明，也是毁于刀耕火种和不合理的土地利用，65 万平方公里的沃土变成了荒漠。位于中美洲的雅玛文明的命运更惨，由于生态遭受破坏，大约在公元 800 年左右在不到 100 年时间之内就几乎达到了人烟绝灭的地步。世界三大古文明毁于人类生态系统遭破坏，教训是极为深刻的。[①]

第一次浪潮对于人类生态系统的演进，影响是很大的，也造成了局部区域的严重破坏。但是从对于整个生态影响来说，特别是比起工业文明的"第二次浪潮"对于整个生态的影响而言，则是无法比拟的。总体上说，第一次浪潮中，人与自然的分化还是很有限的，人对大自然的影响还是很有限的，人与自然之间的关系总体上仍然是处于动态平衡之中的。

随着工业文明的兴起，才开始了真正的大规模的人作用于自然的时代，淡水、林木、土地，都成了工业活动的必需资源。机器延长了人类的体力，有效地提高了劳动生产力，增进了人与自然的交换，大规模地改变了环境的组成和结构，从而也改变了环境中的物质、能量循环系统。征服自然，成了这个时代的口号。似乎人与自然是毫不相干的，人是可以超然于自然之上来支配自然的。如果还有什么联系的话，那就是人向自然的单方面的索取，以人的意志和能力来组织自然界。在工业时代，牛顿力学描述着天体的旋转，也规定着地面物体的运动，还规定着机器的运转。力学自然观，顺应了工业文明，实质上在人和自然之间设立了一条鸿沟。接着，达尔文发现，生物界决非万古不变从来如此，恰恰相反，生物界生生不息，由低级向高级、由简单向复杂演化，连人本身也是从动物演化

---

① 柳树滋著．大自然观．北京：人民出版社，1993 年，275—276

而来的，这是一个充满生机和活力、欣欣向荣、蒸蒸日上的世界。生命、人与无机自然界的分离，获得了额外的支持。那时，以整个自然界为研究对象的博物学在18世纪逐渐解体，地学与生物学分了家，关于无机界的物理科学与关于有机界的生物科学各奔前程。而热力学第二定律描述的有用的能量会逐渐消失，整个世界江河日下，更使得这种分离变得扑朔迷离。

工业文明促进了人类生态的迅速演化。城市化是其中的一个突出方面。城市是人类社会经济发展的必然产物，是人类生态演化的必然结果。城市作为重要的人类生态系统，是一个包括社会、经济和自然生态的复合体，由城市居民及其生存环境(包括自然生态环境、经济环境和社会文化环境等)之间相互依赖、相互联系、相互作用而形成的一个有机整体。20世纪以来，特别是第二次世界大战以来，城市化在世界范围内以一个前所未有的速度和规模发展。越来越多的人进入了城市定居。1920年，城市居民只占世界人口的14%，1980年达到40%，预计到2000年，城市人口将占世界人口的50%以上，而且还将继续增长。1900年以前，世界上没有一座城市拥有500万人口，1950年时，世界上拥有500万以上的城市发展到6座，1980年就达到了26座，估计到2000年时世界上将会有60座人口达到500万人以上的城市。与其他种类生态系统比较，城市生态系统是高度开放的耗散结构，其运行过程需要从外界环境输入大量的物质、能量、信息、人力和资金，同时又要输出大量的产品和废物，而且，人流、物质流、能量流、信息流、价值流都处于高速流动之中，效率也很高。从演化上看，村落—集镇—小城镇—小城市—中等城市—大城市—特大城市—城市群—城市连绵地带—城市化大陆—城市化全球，成为城市生态系统的演替系列。城市化过程代表了城市生态系统演替的一种趋势。城市化是社会发展的一种标志，但同时也带来一系列的问题。随着城市人口的增加，交通拥挤、住房紧张、就业困难、水源短缺、环境污染、犯罪猖獗等

问题随之而来。

工业文明以来，人类对于自然界的作用是前无古人的。人类从自身的需要出发，创造出来大量的人工自然物，在局部实现了荒漠变绿洲、荒山变果园、荒原出现城镇，如此等等，扩大和改变了人工生态系统。人们还可以通过取暖和制冷设备、室内干燥或加湿设备等等，在局部环境中造成舒服宜人的人工生态环境。但是，人们始料不及的是，工业文明又造成了人类生态的破坏。温室效应、大气污染、酸雨、臭氧层破坏等等，破坏了大气圈的原有的动态平衡。江河湖泊污染、淡水资源破坏、海水污染等等，水圈遭到破坏。水土流失、农药污染、沙漠化威胁等等，土壤圈（岩石圈的与生命最直接相关的一部分）遭到破坏。过度的砍伐、过渡的捕捞和猎杀，以及前面所述的种种污染和生态破坏，使得物种大量灭绝，人口激增、资源危机，造成生物圈的危机。于是，正当人们尽情享受大工业给人们带来的现代文明，迎接交通、运输、农业、渔业、采集的现代化，为人类活动领域的扩大、物质生活的丰富而欢庆时，人口爆炸、资源危机、能源危机、环境危机、核污染危机、…… 人类同时面对种种前所未有的新问题，使人类的生存前景不容乐观。表面上服从人对之进行组织的自然界，却又孕育着对人的报复，与人的意志形成了尖锐的对立。而且，人类历史上从来没有这样的状况，战争这个与人类历史相伴随的怪物已经壮大到了这样的地步，人们甚至已经制造出来这样的武器：可以使得自己的生存环境毁于一旦，使得整个地球上的人类毁于一旦。总之，人类生态也在不断的演化之中，我们面临出现具有巨大危险的突变分叉。

## 8.3 生态意识：只有一个地球

20 世纪 50 年代特别是 60 年代以后，由于世界环境污染、人口激增、资源短缺等问题越来越突出，生态学进入了一个新的发展时期，使生态学的理论体系进一步完善。联合国 1965 年组织了国

际生物学研究计划，其主要任务是研究维持地球生命的环境系统及其基本过程，阐明控制环境系统的机理。1970年，在联合国科教文组织第十六届大会2-313号决议设立了"人与生物圈计划"，建立大合作，开展全球性生态系统的环境研究。正是在这样的情形下，人们的生态意识逐渐增强起来。

虽然人们的生态意识、人需要与自然环境协调发展的观念姗姗来迟，但是终于逐渐变成了世人共识。20世纪下半叶确立的演化宇宙图景、人是宇宙演化到一定阶段的产物的思想，生态学的兴起，强调了机体整体性的系统学说，在生物活动与机器运转比较中提出的控制论等等，都从不同的角度或明或暗、或多或少地为人和自然的新的联盟鸣锣开道。

人们从天地生相联系的角度来看待人和自然的关系。马古利斯(Margulis)和洛夫洛克(Loveloke)以希腊神化中的大地之母来称呼包括人、生物圈以及大气圈在内的大系统，把它称作"盖娅系统"。按照他的见解，盖娅系统不仅是由生命控制的，而且也是由生命造成的，又是生命得以维持和发展的保障。按照他们的计算和推理，如果地球上不曾诞生生命，或者地球上现在的生命全部灭绝，那么前一种情况下地球应与金星、火星相似，后一种情况下地球将逐渐回到与金星相似的状态。由此可见，适合生命存在的地球的形成和维系，又是只能由生命来保证的。安德逊(Anderson)在20世纪80年代甚至指出，地球的板块之所以见之于地球而不见之于与地球相类似的金星，也要归结到地球上出现了生命，归结到地球上生命的活动。[1]

20世纪60年代以来，把系统方法运用于生态系统的研究，使生态学研究提高到一个崭新的阶段。人们认识到，生态系统是极为

---

[1] 参见：张畋. 新自然观与人类文明. 现代科学的哲学探索(赵光武主编)，北京：北京大学出版社，1993年，310—313

复杂的动态系统，要解决诸如森林、牧场、农田、生物防治等生态管理，不可能只从局部着眼就可以解决问题，而要求具有整体性考虑问题的方法，这就要运用系统理论、系统分析的方法来研究和认识生态系统。

系统理论运用于生态系统的研究，使得人们对于生态系统的认识提高到一个崭新的阶段。人们认识到，生态系统也像有机个体一样，具有使得自身保持稳定的能力，并且在稳定中得以发展。这就是借助负反馈机制使得自身保持动态稳定存在。同时，微小的涨落会在正反馈作用下，通过涨落得以放大，进入新的有序态。正常的情况下，这两种趋势相互作用，使得系统稳步发展，不会危及整个生态系统的健康演进。

耗散结构理论所提倡的科学新思想，其奠基人热情呼吁"人与自然的新对话"，尝试把热力学嵌入动力学之中，也是力图把生命包括人的活动嵌入地球的自然史之中，为其在自然演化之中与自然结成联盟奠定理论基础。熵的世界图景给我们描述的是整体世界不可逆地江河日下，由此引出的结论是人类要能够长期存在就必须尽量减小熵增过程，回归到"低熵社会"。而按照系统的耗散结构理论，在不违背热力学第二定律的情况下，不可逆系统可以通过开放从环境引入负熵而向有序发展。托夫勒把耗散结构理论称之为属于第三次浪潮的文化，是有一定的道理的。系统科学的新成果，为人类生态系统的健康演化，进一步提供了科学思想的武器。

严峻的生存危机迫使人们不得不重新审度自己与自然环境的关系，运用系统工程方法对于人类生态系统的定量研究极大地促进了人们生态意识的加强。

值得特别指出的有，福瑞斯特(J. Forrester)把系统动力学运用于人类问题、人类生态问题的研究，对于促进人类生态意识的觉醒作出了重要贡献。1961 年福瑞斯特发表《工业动力学》，从工

业企业角度阐明了系统动力学的原理。1968年他进一步发表《系统原理》，重点阐述了系统中产生动态行为的概念。次年他又发表《城市动力学》，从美国城市案例出发论述了城市的发生、发展和兴衰。他的研究工作逐步在越来越广泛的范围得到了应用，远远超出了最初的工业动力学的范围，因此就改名为系统动力学。

20 世纪 70 年代初，罗马俱乐部成员福瑞斯特和他的学生米都斯(Meadows )运用系统动力学，定量研究了世界未来的发展。罗马俱乐部是一个由多国科学家、经济学家、社会学家组合起来的学术团体，成立于 1968 年，其宗旨是促进对于我们生活在其中的全球系统的综合性认识，并促进各国政策制定者和公众都注意这样的新认识。他们从创立之日起，就确定了一个目标，试图发现一种方法和方案使人类摆脱世界面临的人口增长与资源枯竭的困境。他们运用系统动力学，建立了一个包括人口、农业生产、自然资源、工业生产和污染等 5 个变量的世界方程，这实际上也就是一个人类生态系统方程。他们通过研究指出，如果世界人口、工业化、污染、粮食生产和资源消耗都按现在的指数增长，那么只需 100 年就会达到增长的极限，届时最有可能发生的是人口和工业生产的突然的不可控制的衰退。他们还认为，改变这种增长趋势和建立稳定的生态和经济的条件，以支撑遥远的未来是可能的。这样的全球均衡状态可以这样来设计，使地球上每个人的基本物质需要得到满足，而且每个人有实现个人潜力的平等的机会。他们为实现后一种前途开出的处方是：从现在起，就要由过度的增长过渡到“零度增长”的全球均衡而努力，其中包括 1975 年停止人口增长，1990 年停止工业增长等等。他们的观点，集中反映在 1972 年发表的《增长的极限》、1974 年发表的《走向全球的平衡》等著作中。

他们的观点提出来以后，在世界范围内激起了大争论。美国赫德森研究所于 1976 年发表了《下一个 200 年——关于美国和世界

情景的描述》的报告，其中全面批判了罗马俱乐部的所谓的"悲观论"观点，从而开始了"乐观论"与"悲观论"的争论。他们也承认能源、环境、人口和资源等问题，但是从不同的观点来看待这些问题，认为这些问题是可以以不同于"零度增长"的方式得到解决的。

尽管上述向罗马俱乐部递交的报告的说法有耸人听闻之嫌。事实上，通过争论，他们在后来也修改了自己的一些说法。尽管对他们的结论仍然是有争论的，他们的研究也远非完善，但是，他们的研究的确提出了一些当代人类面临的重大问题，提出了一些引人深思的思想以及提出了一些解决问题的建议，起到促进人们正确认识人和自然关系，增强人们生态意识的作用。特别是，1973 年代中东石油危机和 1979 —1980 年原油价格第二次飞涨，西方经济经历了战后的最严重最深刻的危机，使得罗马俱乐部成员的有关研究受到了极大的重视。

相应地，"回到自然"的观点也提了出来。一些生态主义者进一步提出的解决世界面临的难题的处方是"回到自然"。他们看来，现代社会的分工和专业化是万恶之源，人类应该重新返回原始的"朴素技术"，每个人都应该尊重手工劳动并从事农耕；人们应该在自己居住的小块土地上，凭着自己的双手谋生。为此必须以一种新型的"朴素技术"来代替现在的"硬技术"，并且尽量不使用不可再生资源，尽量不对于环境造成干扰，以图在地区和小区域内自满自足，并要消灭人类异化和剥削。[①]

按照里夫金(J. Rifkin)和霍华德(T. Howard)在 1980 年所著的《熵：一种新的世界观》所宣扬的熵的世界观，人类要摆脱困境的、使"濒临灭绝边缘的世界进入有秩序的新时代"，唯一出路是建设一种"低熵社会"，采用以太阳能为主的再生能源。这样一种回到

---

① 参见：吴廷浩著. 新自然史. 北京：化学工业出版社，1993 年，360—361

“低熵社会”的观点，其实质上也是一种“回到自然”的观点。

以托夫勒为代表的西方未来学者，为世人开出的是另一付解决问题的处方。他们承认罗马俱乐部发出的警报，但他们认为科学技术的发展将使人们摆脱目前的人类生态困境。托夫勒在他的1970年发表的《未来的震荡》、1980年发表的《第三次浪潮》和1990年发表的《权力的转移》几本接连令世人震惊的著作中预言，新兴科学技术的进步，特别是目前的以微电子技术为核心的新兴技术掀起的“第三次浪潮”，会把人类文明带到信息社会而取代传统的工业社会，从而使人类摆脱工业文明带来的生存危机。在他看来，尽管转变之中充满冲突、动荡、混沌和无序，但人类社会仍然会走向进步，走向未来的新型社会。在未来的新型社会中，知识的作用急剧增大，将成为社会运转的主宰力量；信息以接近光速的速度运转，经济成为快速运转的经济，时间和速度成为越来越重要的生产因素。总之，工业文明将让位给信息文明，并最终使得人类建立起新型的经济，并摆脱生态困境。

不论是所谓的世界发展“悲观论”，还是“乐观论”，也不论是“回到自然”，还是由“第三次浪潮”带入信息时代，上述的种种观点，种种惊世骇俗之言，尽管往往都有其片面之处，但是，它们都从一个特定的角度提出了必须注意人类生态问题，人类面临的对未来的选择问题。上述的种种处方，种种关于未来的预言，尽管往往也都有其片面之处，事实上其中并没有任何一个为世人都认可的切实可行的方案，但是应该说，这些有关世界前景的严肃思考不能不引起我们的严重关注。我们正面临着现代化的巨大压力，具有极为重要的现实意义的是，如何吸取别人的经验教训，进行并改进和深化有关的系统研究，以把握世界总系统和我们国家这个系统未来的发展趋势，促进经济建设和生态健康的同步发展。

## 8.4 生态研究:走向社会—自然—经济复合体

我们只有一个地球,幅员和资源有限的地球不可能保障人口的无限制的增长,而且也不可能保障在任何条件下都允许人类甚至一切生命继续生存下去。

人置身于自然之中,形成了人与自然的关系。人是自然发展的产物,决定了人与自然结成了发生学意义上的关系,这成为人与自然诸关系之中的前提。人不仅仅源于大自然,也只有赖以大自然为生,决定了人与自然结成了实践的关系,成为其他一切关系有关人的活动的关系的基础。正是在人的实践的基础上,人与自然进一步结成了价值关系、心理适应关系、情感道德关系以及审美关系等等。

在人与自然的关系之中,人在自然界面前既有能动性的一面,更有受动性的一面,从根本上讲,人又是受到自然的制约的。这就决定了,人类的持续健康发展的前提是人类的活动必须与自然界协调。

但是,人与自然协调发展的实现,却非一件易事。对于既改造自然又顺应自然的人们,其能动地作用于自然的行动往往具有盲目地,其计划、其目标往往具有急功近利的性质。特别是当割裂了人与自然的相互联系、共同进化,只看到人对自然的索取和人对自然的安排组织时,这种盲目性就更严重了。这样一些重要因素联合作用,正是环境的危机、生态系统危机的直接原因。时代认识的局限性,使人们只看到眼前的利益,只看到最直接的暂时的效应。当社会生产力得到大发展时,很容易使人们陶醉于人对于自然的胜利之中。因此,人的认识的局限性有待于人的认识的进化来超越,这种超越有待于物质手段的发展,也有待于思维水平的发展、精神能力的发展。

恩格斯早在19世纪就已经高瞻远瞩地指出:“我们决不要陶

醉于我们对于自然界的胜利。对于每一次这样的胜利，自然界都报复了我们。每一次胜利，在第一步都确实取得了我们预期的结果，但是在第二步和第三步却有了完全不同的、出乎预料的影响，常常把第一个结果又取消了。美索不达米亚、希腊、小亚细亚以及其他各地的居民，为了想得到耕地，把森林都砍完了，但是他们梦想不到，这些地方今天由此成为荒芜不毛之地，因为他们使这些地方失去了森林，也失去了积聚和贮存水分的中心。阿尔卑斯山的意大利人，在山坡南面砍光了在北坡被十分细心地保护的松林，他们没有预料到，这样一来，他们把这一区域里的高山牧畜业的基础给摧毁了；他们这样做，竟使山泉在一年中的大部分时间内枯竭了，而在雨季又使更加凶猛的洪水倾泻到平原上。在欧洲传播栽种马铃薯的人，并不知道他们也把瘰疬症和多粉的块根一起传播过来了。因此我们必须时时记住：我们统治自然界，决不像征服者统治异民族一样，决不像站在自然界以外的人一样，——相反地，我们连同我们的肉、血和头脑都是属于自然界，存在于自然界的；我们对自然界的整个统治，是在于我们比其他一切动物强，能够认识和正确运用自然规律。"①

人类生态问题，不仅仅是一个人和自然的关系问题，而且是一个人和人的关系问题，因为人们的存在并非只是个体的生物体的存在，更重要的也是社会性的存在。从历史发展来看，人和自然的关系之所以变得十分尖锐，还有其深刻的社会根源。当人类社会发展不可避免地出现了私有制及私有制的进一步的发展时，社会实现了一次又一次的进步，同时，私有制的弊端也就变得越来越明显。剥削阶级的阶级本性决定了其唯利是图、不顾后果疯狂地向自然界盲目掠夺，就这就加剧了人和自然的尖锐对立。而且增加了解决问题的局限性，特别是解决全球问题的难度。一些科学技术比较

① 恩格斯．自然辩证法．北京：人民出版社，1971年，158—159

发达的西方国家，较早注意到人与自然关系的局部失调乃至全球失调的问题，并采取了一些有效的措施来加以治理，例如，雾都伦敦经过治理已经基本上成为无烟城市，欧洲的莱茵河也已重新变得清水潺潺，从鱼虾基本绝迹重新恢复了生机。但是，资产阶级的最大利润原则和弱肉强食本性决定了其解决问题的局限性，他们不愿意也不可能真正解决全球的控制协调问题。他们为了本国的利益，把一些高度污染环境的工业转移到第三世界国家。超级大国武器库中的核武器，可以把现在的地球生命反复摧毁许多次，成为地球上最大的潜在破坏因素。

因此，要真正解决人类生态问题，就必须要协调人和自然以及人和人这样的双重关系。马克思在《1844 年经济学哲学手稿》一书中，已经提出了协调人和自然、人和人关系的天才预言："共产主义，作为完成了的自然主义，等于人道主义，而作为完成了的人道主义，等于自然主义，它是人和自然之间、人和人之间的矛盾的真正**解决**……它是历史之谜的解答，而且知道自己就是这种解答。"[①] 社会主义运动的出现和社会主义制度的建立，为理想境界的到达提供了必要的前提。只有随着社会主义的全面胜利才可能真正实现人和自然的协调发展。从根本上讲，只有共产主义才能真正实现这种双重协调。

认识到人和自然、人和人双重关系的相互制约，今天已经不是个别先哲的发明，这已是许多严肃学者的共识。例如，我们从罗马俱乐部的研究成果的深化就可以看到这一点。为了回答人们对于《增长的极限》的批评，罗马俱乐部以后又出版了《处于转折点的人类》，《国际秩序的改造》，《人类的目标》以及后来的一些报告。同时，自 1971 年以后，出现了多个有关世界未来的全球模型。这些模型后来均由米都斯等人于 1983 年所编的《黑暗中的探

① 马克思恩格斯全集第 42 卷. 北京：人民出版社，120

索:全球模型的十年》一书中加以综述。下面几点是他的综述的主要结论:[1]

1. 技术进步被视为是最紧要的,但是社会和政治的变革也是不可少的。

2. 在有限的地球上,人口和资源是不可能永久增长的。

3. 对于地球的物理环境和生命维持系统究竟能供养多少人口的问题,尚无可靠的和完善的信息。但人口增长率的剧烈降低将大为减少"人口超越"或"生态危机"的出现的可能性。

4. 继续按现在的"生活常规"发展下去,不可能有良好的未来,而只能进一步加宽一些不良的缺口(如贫富之差)。

5. 长期的协作政策比短期的竞争政策对于全世界各部分都更有利。

这里,社会和政治对于人类生态问题的制约已经是列入首要问题之中的。

在著名系统哲学家拉兹洛看来:"社会—经济世界系统和政治世界系统是紧密联系在一起的。后者只不过是前者的一个方面:政治和管理方面。如果不把社会系统(社会圈)考虑进来,那我们就不可能正确地认识世界系统,因为社会系统是治理的实际主体。而如果不把资源基地和自然环境(即生态圈本身)考虑进来,那我们也不可能对社会系统作出恰当的评价。"[2]

当代生态研究的发展,已经不仅仅停留在自然生态研究的水平上,已经开始发展到社会—自然—经济复合生态系统的研究阶段。20 世纪 70 年代以来系统生态学建立和发展,以及诸如电子计算机技术的应用,为这种复杂巨系统的研究提供了有力的技术手

---

① 孙儒泳编著.动物生态学原理.北京:北京师范大学出版社,1987 年,543

② 拉兹洛著.闵家胤等译.《系统哲学讲演集》.北京:中国社会科学出版社,1991 年,140

段。现代生态学原理与各个实践领域的紧密的结合，与社会经济、科学技术的紧密的结合，运用生态学基本原理硬技术与专家评估这样的软技术的密切结合，使生态观念不再局限于少数的生物学家之中而是为广大领域所接受，提高公众生态意识与促进政府决策有利于生态保护，如此等等，都从不同的水平上正在向协调双重关系方向上发展。生态学自身的发展，也从科学研究的角度开始注意社会—自然—经济复合生态系统的研究，这与协调人和自然、人和人的关系的精神实质上也是一致的。

*在我们这样的社会主义国家，把系统工程运用到整个社会主义建设，就是社会系统工程，简称社会工程。*

钱学森　用科学方法绘制国民经济现代化的蓝图

# 9　社会系统观

社会是一个开放复杂的巨系统，它从根本上说是一个自组织系统，而人的能动性、目的性活动又可以对这个自组织系统进行合乎于规律的调控。社会系统最终又是与自然系统内在地联系在一起的，社会的健康和谐发展，协调人与人的关系毕竟是与协调人与自然的关系内在地联系在一起的。

## 9.1　社会：开放的复杂巨系统

有了人，就有了社会。现在我们广泛使用的"社会"概念是从日本明治维新后从英文"society"翻译过来的。唐代古籍《旧唐书·玄宗本记》中有"村闾社会"说法，出现了最早将"社"和"会"联用，基本涵意是"人们为祭神而集合到一起"。

西方学者对社会的理解基本上有两派：一为社会唯实派或实体派，认为社会不仅是个人的集合，它还是一个客观存在的东西，是真实存在的实体；另一派为社会唯名派，认为社会是代表具有同样特征的许多人的名称，是空名而非实体，真实存在的只是个人。

在马克思主义看来，一个现实的人，决非仅仅是个体意义上的人，他同时又是社会的人。同样地，社会又是由个人组成的，没有了个人，社会也就不复存在了。社会和个人的关系，也就是系统和要素的关系。

社会相对自然界而言，社会是相对独立于自然界的由人类及

其活动组成的巨系统，而且还是一个开放的复杂巨系统。钱学森1988年11月1日在系统学讨论班上描绘了这样一幅图画：

系统……巨系统—┌简单巨系统，如协同学描述的系统
　　　　　　　│复杂巨系统，如生态系统、人体系统
　　　　　　　└特殊的复杂巨系统，如社会系统

这里可见，钱学森是把社会系统看作是世界上最复杂的系统。协同学、耗散结构理论所描述的系统，一般是物理、化学中的系统，比起后面的两种复杂巨系统来，子系统的种类较少。生态系统、生物系统、人体系统等等，其中的子系统的种类就很多，极为复杂。对于社会系统来说，这里不仅仅有自然的属性，而且有社会的属性，其中有人这个认识的主体、人与人之间的关系、生产关系的总和，所以至今运用系统方法对社会问题进行定量研究仍然是困难重重。

社会系统这样的复杂巨系统，其复杂性表现为：

① 以社会关系的总和为整体性的基本内容；

② 种类数量巨大；

③ 构成社会系统的要素不仅包括实体，而且也包括思想意识形态；

④ 是天然系统和人工系统的复合物；

⑤ 有序与优化过程是以物质生产为基础，按等级、分层次、开放式的排列和演进；

⑥ 概率性、开放性最大。

钱学森还在该讨论班上提出运用系统学来研究社会结构，并具体提出如图9-1-1的社会结构体系设想。

在钱学森的框架中，社会系统的中心是人，人处于社会系统最重要最中心位置，是其中最活跃的因素。人类社会系统主要由三个子系统组成，即由经济的社会形态系统、意识的社会形态系统和政治的社会形态系统组成。这三个子系统是相互联系、相互制约和相互适应的，如何正确处理社会系统的三个子系统建设的关系问题，

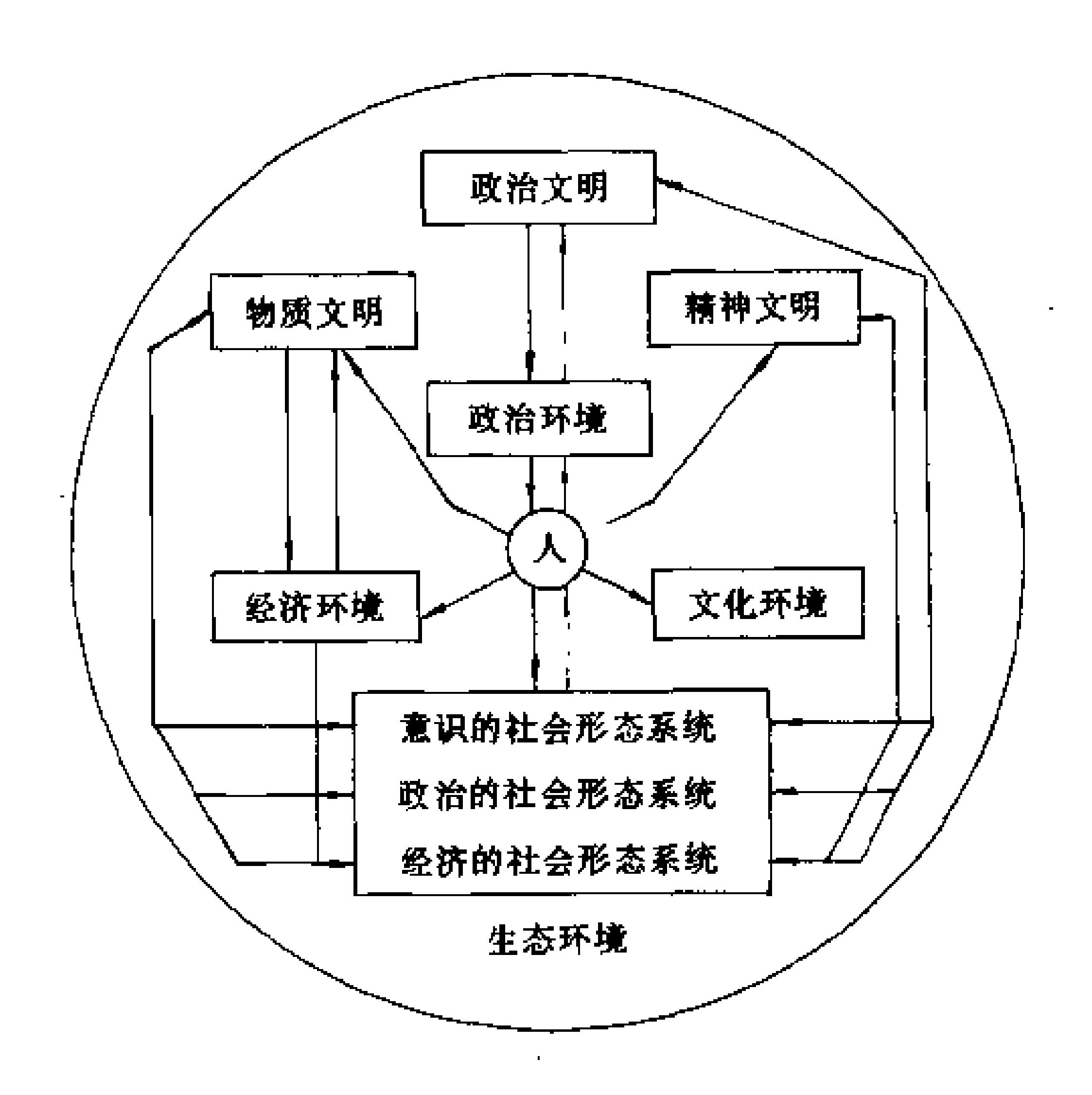



图 9-1-1　钱学森的社会结构体系设想

研究它们的持续协调发展，以取得最好的整体效益，就是具有根本意义的问题。从系统工程角度来看，这就成为社会系统工程，是系统工程中最复杂最难处理的一类技术问题。①

从实践角度看，与三大文明系统相联系的是人类社会发展的三大建设，即物质文明、政治文明和精神文明的建设。物质文明是改造自然的物质成果，政治文明则是改造社会的成果，是新建立的生产关系的体现和发展，在改造自然和社会的过程中必然使得主

① 钱学森、孙凯飞、于景元．社会主义文明的协调发展需要社会主义政治文明建设．政治学研究，1989 年 5 期，1—10

观世界得到改造和提高，其成果就是精神文明。

社会的这几大基本建设，都是在一定的环境之中进行的，都与我们赖以生存的地理环境相联系，人类社会的大环境是我们赖以生存的地理环境系统。

事实上，我们还可以进一步把社会系统分为若干层次进行考察。

① 宏观(层次)系统。

从宏观层次上看，社会系统是以人为核心的人类群体组成的。一个国家，有国际社会的大背景，同时又是这个国际大家庭的一员，是整个人类社会系统的一个子系统。再进一步说，人是在地球上、在地球环境下生存的，人类社会的外部环境是地理系统，它为人类的生存、社会的存在提供了生存空间和必要的生存环境，一旦环境被破坏人类就无法生存，社会亦不复存在，地理系统又是整个自然系统的一个子系统，或者说它又是以自然系统为环境而存在的，一旦太阳失去能量，地理系统也就失去了自己的活力，自己亦就不存在了。

② 中观(层次)系统。

这也可以称之为抽象社会系统结构。把宏观层次稍加展开，从总体上讨论社会系统的结构，即可以按马克思的历史唯物主义观点将社会系统看作一个有机整体，从比较抽象的角度去分析社会结构，则社会系统是社会存在子系统和社会意识子系统组成的，而社会存在又可以分自然生产方式和物质生产方式，社会意识可分为占统治地位的社会形式和其他社会意识，物质生产方式与相应的社会形式是相互作用转化的。物质生产方式又是以人为核心的社会生产力和生产关系两个子系统组成，相应的社会形式又建立在经济基础和上层建筑之上的。自然生产方式则是从人类社会生存的角度考虑其生存环境的自身生产方式，包括地理系统和自然系统主要要素，如空气、水、土地、森林、草原、地矿资源、能源、野生

动植物等等，可以称之为生存环境的再生产系统或自然生产系统。

③ 社会具体子系统。

把以上抽象系统与现实系统加以对应，可以把社会系统分为以下社会具体子系统：人类自身生产系统，物质资料生产系统，精神生产系统，政治产生系统和自然力生产系统。人类自身的再生产系统，是人类社会发展的根本动力系统。物质资料生产子系统是为人类生存、人类社会发展提供物质基础的生产系统，它的存在形式，生产水平是衡量社会进步的根本标志。精神生产系统是人类认识和改造世界的精神成果，政治产生系统则是统治阶级为了维护自身利益，协调人与人之间的各种利益关系，维护社会稳定发展的统治手段。自然生产力系统是由生存环境各种因素在人类干扰和自然发生条件下的自然力再生产手段。

④ 社会微观(层次)子系统

为了维持人类自身的再生产，为物质生产系统提供劳动力，发展社会生产，必须有正常的婚姻生育系统，还要有医疗保健系统以抵御疾病、维持生命，为保持人身健康，增强体质，还要体育运动。为了发扬人类群体抵御天灾，安渡晚年，还需要有社会保障体系。

为了不断推动社会前进，必须不断创造和丰富社会的物质财富，随着社会生产力的不断发展、提高，社会分工越来越细，在社会生产资料生产系统中逐渐分化出来第一、二、三产业和以科学技术为主体的第四产业。在这里科学技术与精神生产系统又有交叉，表示作为知识形态的科学技术要经过转化才能使间接生产力变成直接生产力。其中第一、二、三产业又可以分为许多具体的行业，每一行业就是一个微观子系统。

精神生产系统又可以分为科技、教育、文艺、新闻出版等等，每一个系统下面又有许多微观子系统。

从以上分析中，我们进一步看到社会系统的多层次、多类型的复杂性，而且社会系统还是与自然系统相联系的，一个社会系统

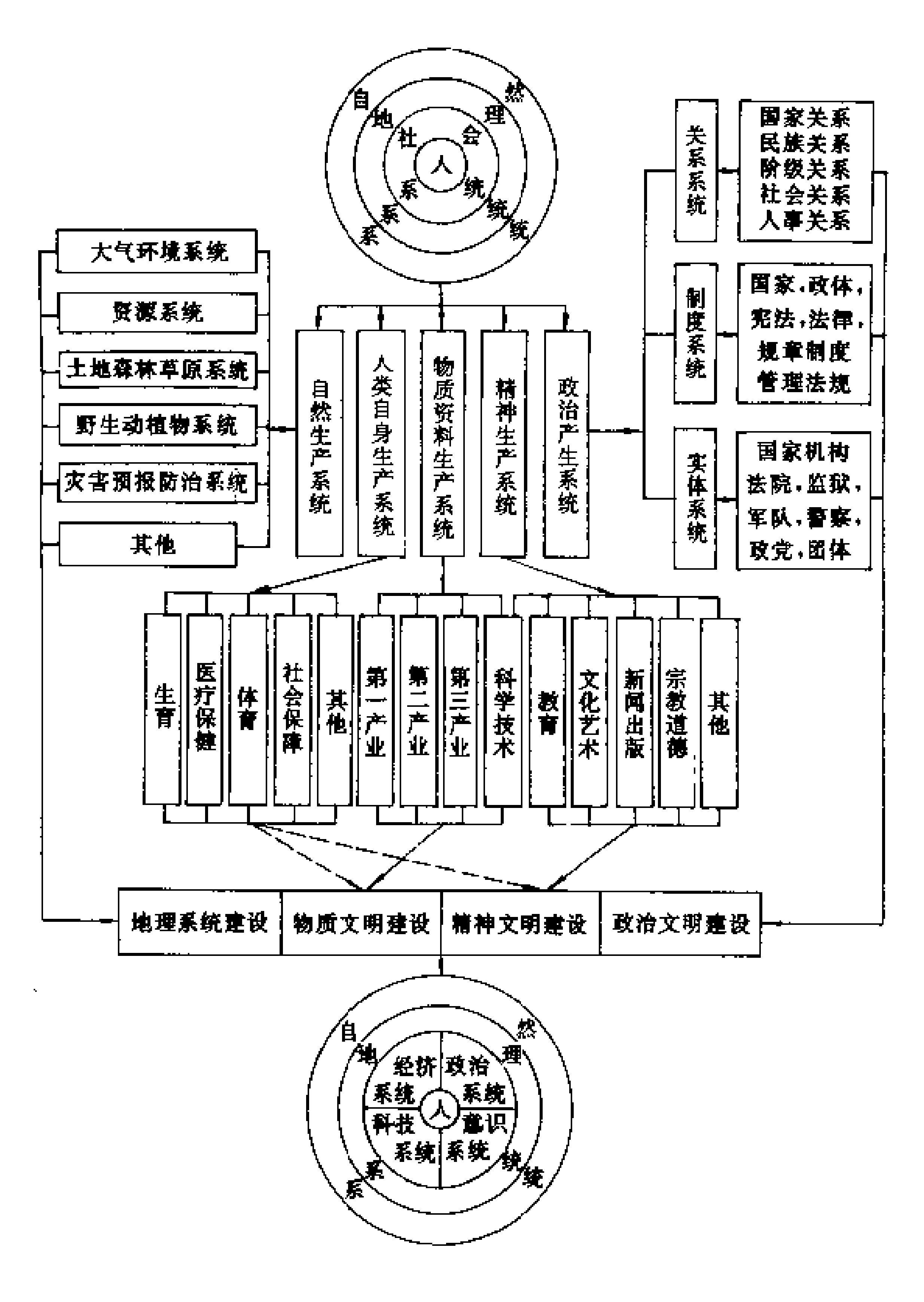



图 9-1-2　自然-社会系统结构

的开放，涉及到对于整个人类系统的开放，也涉及到对于自然环境的开放。于是，我们就得到了图 9-1-1，也不难理解为什么说社会是一个开放的复杂巨系统。

## 9.2 社会系统的自组织

有了人，就有了人类社会，一个现实的人，决非仅仅是个体意义上的人，他同时又是社会的人。社会系统不同于通常的无机系统，也不同于普通的动植物系统。社会系统中的人，他有高度的自觉性和高度的能动性，被称之为万物之灵。有意识的具有最高目的性行为的人，是不是就可以全然主观地决定自己的命运，是不是就可以随心所欲地支配社会的发展呢?换言之，在大量个人子系统的运动中，是不是形成了如同协同学所说的序参量呢，即形成了不以个人意志为转移的社会整体系统的行为模式呢?回答是肯定的，即社会这个开放的复杂巨系统处于自组织演化之中。

按照马克思主义的观点，人类社会的发展状况归根结底可以从物质生产劳动的发展状况中得到说明。推动社会前进的归根结底不是个人的意识，甚至也不是社会的意识，而是物质生产劳动。人们首先必须吃、喝、住、穿，然后才能从事政治、科学、艺术、宗教等等活动。因此，社会的发展本质上是自组织的，“人们在自己生活的社会生产中发生一定的、必然的、不以他们意志为转移的关系，即同他们的物质生产力的一定阶段相适应的生产关系。这些生产关系的总和构成社会的经济结构，即有法律的和政治的上层建筑竖立其上并有一定的社会意识与其相适应的现实基础。”[①]“在这些现实关系中，尽管其他条件——政治的和思想的——对于政治条件有很大的影响，但经济条件归根结底还是具有决定意义的，它构成了一条贯穿于全部发展进程并唯一能使我们理解这个发展进

① 马克思恩格斯选集第二卷.北京：人民出版社，1971 年，82

程的红线。”[①] 马克思恩格斯在这里不仅指出了社会系统发展的自组织本质，而且还指出了政治法律系统、思想意识系统和经济基础这三个社会形态的子系统之间的有机联系。经济基础和生产关系指的是同一客观对象。相对于生产力而言，它就是经济基础。生产力、生产关系和上层建筑之间的关系，也不是线性的因果链，生产力←→生产关系←→上层建筑的描述就有这种准线性的痕迹，尽管这里强调了生产力的重要地位。在我们看来，更为合适的是把它们描述为一种三者之间相互作用的关系，同时也承认生产力起着终极意义上的决定作用。

生产力是人类社会解决人和自然的矛盾，获取物质资料生活的能力。从物质资料来源的角度出发，人们把社会的发展划分为采集狩猎时代、农耕放牧时代、农业时代、工业时代以及今天的后工业时代。后工业时代即信息时代，这表明在解决社会和自然的矛盾中，获取信息资源在今天也变得十分重要了。

由于生产工具、科学技术水平是生产力发展程度的重要标志，所以从生产工具、科学技术水平角度来看，社会经历的是石器时代、青铜器时代、铁器时代、蒸汽时代、电气时代、原子能时代以及今天的电子时代、信息技术时代。

这些从不同角度进行的划分形式各异，但本质上却是一致的，既体现了最终意义上起作用的支配力量，也反映了并不存在单个支配力量线性地推动社会的前进。在使用石器工具的极其低下的生产力条件下，只能产生原始社会的生产关系及其社会形态。以金属工具为主的较为进步的生产力，最终决定了奴隶制生产关系及其社会形态的产生。由于金属工具的改进，特别是冶铁技术的进步，使手工业和生产力得到更大的发展，造成了奴隶社会的失稳，奴隶制的生产关系和社会形态终于演化为封建主义的生产关系和

① 马克思恩格斯选集第四卷．北京：人民出版社，1971 年，506

社会形态。从使用手工工具过渡到机器生产，是资本主义的生产关系和社会形态取代封建主义的标志，其间也经历过多次涨落放大，越过不稳定态。而社会主义生产关系和社会主义社会形态的最终确立，也离不开先进生产工具的采用和生产力的极大发展。信息时代的到来，把世界构成一个整体，最终必将为社会主义生产关系和社会形态的确立提供物质基础，其本质精神与社会主义的全面胜利和向更高阶段发展是一致的。

深入到一个具体的社会，其中有经济、政治、法制、文化、教育、卫生诸多子系统，每个子系统都以其他子系统以及地理环境作为自己的环境而处在不断发展变化之中。

例如，一座城市就是一个不断演化发展的自组织系统，是一种耗散结构组织，它不断地从外界输入物质、能量和信息(劳动力、原材料、能源、通信等)，又不断地输出人才、产品、废料等。布鲁塞尔学派的埃伦(E. M. Allen)运用自组织理论的观点，定量地讨论了城市人口的空间分布结构。他指出，影响人口分布的原因很多，基本上可以分为三种不同的机制：自然机制，即人口的出生率和死亡率；人口迁移；客观条件对于人口发展的影响。其中，人口变动的主要原因是迁移，第一种机制在美国可看作一个常数，第三种机制可略而不计。人口迁移主要是经济原因引起的，气候等其他因素也有一定的影响。他们之间的主要关系如图 9-2-1 所示。

按照这个关系框图建立相应的数学模型后，计算机模拟表明，数学模型基本上反映了美国各州之间人口发展的机制，所确定的参数也符合实际。进一步利用此模型对未来发展进行的预测被专家认为比其他预测的结果要好。

对于国家的经济发展，也可以从系统自组织的角度进行解释。系统自组织理论的协同学学派的韦德里希(W. Weidlich)和哈格(G. Haag)运用协同学的观点，探讨了关于战略投资的非平衡理论，并用定量数学模型具体考察了原联邦德国从1955年到1980

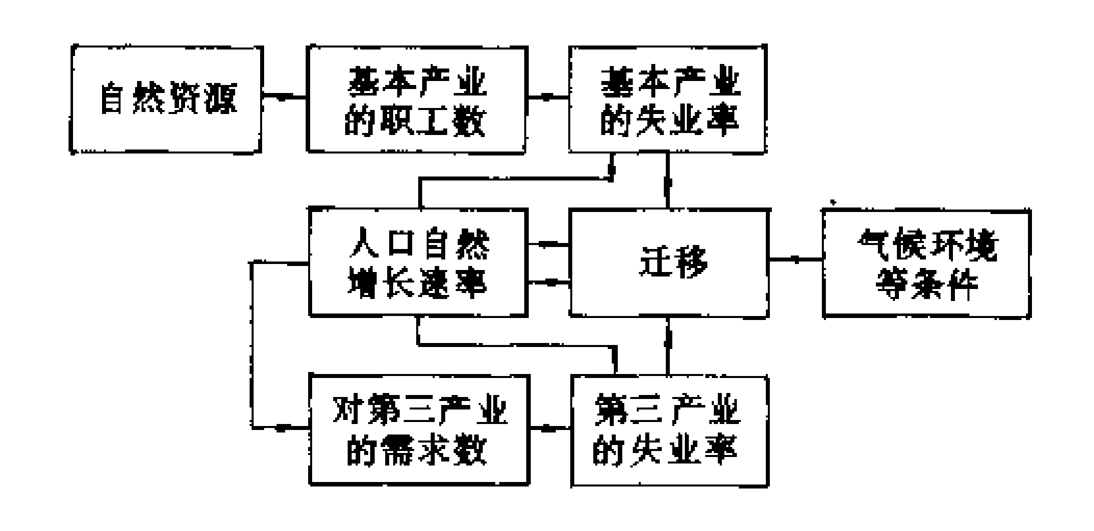



图 9-2-1　埃伦模型中的关系框图①

年经济发展的情况。计算结果表明，数学模型与联邦德国经济发展的实际规律符合得很好；对参数选取的分析，原则上与一般的投资规律相符，同时也与联邦德国的实际情况一致。（图 9-2-2）

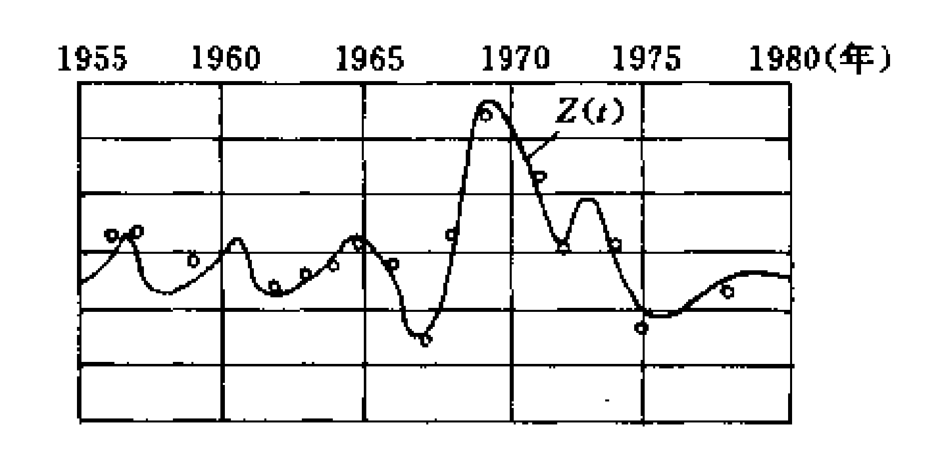



图 9-2-2　计算的投资结构指数(Z(t))和原联邦德国的实际经济投资量(o)的比较②

有关的种种研究还很多，例如，关于城市演化与工业发展问

① 沈小峰、胡岗、姜璐编著．耗散结构论．上海：上海人民出版社，1987 年，154

② 魏宏森、宋永华等编著．开创复杂性研究的新学科．成都：四川教育出版社，1991 年，335

题、渔业捕捞问题、交通问题、能源问题、社会舆论问题、战争与和平问题等。

运用系统自组织理论研究种种社会系统，在诸多方面与实际情况相符合。这反过来说明了，在种种社会系统的演化发展中，总有相应的无形的力量在起着支配的作用、控制的作用。用自组织的理论术语来说，归根结底，社会系统总体上是处于自发运动、自我组织之中的，在按自组织规律运动发展，而不是"救世主"在支配社会，不是个人的主观意志左右社会的演化发展，甚至也不是社会意识在支配社会的演化发展。

## 9.3 社会系统工程

尽管从根本上来说，人类社会系统是自组织的。这并非意味着人们只能听天由命。我们并不否认人的自觉性、能动性和目的性，人的意识对于人的存在有反作用。

在个体意识与社会系统的关系中，个体的不同凡举以及个人的灵感、个人的创新等等，都可以看作社会系统中的涨落。一方面，不是种种涨落决定系统的命运。另一方面，又是涨落创新给系统提供了选择对象，一旦系统选择了某种涨落，并将其放大时，由该种涨落引起的巨涨落就会影响系统的演化。个人的行为、意识一般不会影响社会的进程，但当个人得到集体的响应并融入集体之中时，就可能影响社会的演化。我们往往可以看到这样的情景，一种观点，引起一种社会思潮；一部作品，获得许多读者的共鸣；英雄壮举，牵动千百万人的心。

社会意识对社会的影响就更大了。而政府决策对于国家事业是否兴旺和发展方向，更是有直接的影响。前面所谈到的用自组织理论研究社会系统的演化机制中，无一例外都考虑了政府政策的影响，并在参数值中得到反映，这也就从一个侧面体现了社会意识对社会存在的反作用。马克思主义关于人们的社会存在和社会意

识关系的论述，深刻地揭示了社会存在决定社会意识、社会意识反作用于社会存在的辩证法。

总之，人是有意识的，人的行动有自觉性、能动性和目的性，这也是生命与非生命的一个原则区别。人的意识反作用于社会又是有条件的、相对的，是不能违背客观规律的，也是受自然环境条件所限制的。人的能动作用表现在可以去发现规律、利用规律、顺应规律，并结合主客观条件，推动人和社会的发展。从刀耕火种、自然农业到现代农业以至人工农业，从消极应付疾病、消极治疗到提前预防等等，都是这种能动性的体现。正因为人的能动性受历史局限、认识的局限、阶级立场的局限，在人类历史上也常常出现破坏社会自组织的现象。法西斯妄图以武力征服世界，资本主义无时无刻不在企图扼杀社会主义事业，今日的全球性环境危机，以及我们工作中的失误等等，都是这种现象的表现。我国社会主义的开放改革，就是要充分发挥人的主观能动作用，更好地认识和利用社会的自组织发展演化规律，推动这种自然历史过程的不断前进。

人们不可能创造规律，从根本上来说只能顺应规律。但是具有能动性的人，却可以积极主动地认识规律，并积极能动地利用规律，从而以人的目的性行为的方式，通过对于系统的组织，即通过对于系统的控制，去自觉地实现系统的优化。对于社会系统来说，这就是运用工程技术方法，特别是运筹学方法和控制论方法等工具手段，去管理国家、管理社会，形成社会系统工程。当然，社会是一个复杂的开放巨系统，真正实现整体的社会系统工程也是极其复杂的。

钱学森指出，复杂巨系统的特点有两个：一是系统的组成是分层次、分区域的，即在一个小局部上可以直接制约、协调；在此基础上还有更大的层次组织。这叫做多层结构。另一个特点是系统大，作用不可能是瞬间的、一次的，而要分成多阶段来考虑。因此在长

远规划中只用一般规划理论就不行。[1]

事实上，要真正实现社会系统工程，有许多工作要做。首先是社会系统工程所需要的技术还有待于进一步发展和完善，现在无论是在运筹学还是在控制论这两方面都很不够，还需要进行深入的细致的研究工作。再如相应的通讯能力也有待发展，这里值得指出的是，信息高速公路即国家级信息通讯网络的提出和建设，从而可以极大地提高社会系统的通讯能力，实际上也就是为社会系统的调控能力的增强提供了一定的物质技术手段基础。

对于社会系统进行规划，对其发展进行预测，制订一定的社会目标，并选择一定的实现目标的途径和方式，这正是人的能动性的表现。同样地，这也不等于社会可以完全按照人的主观意志和主观希望去发展。因此，在强调社会系统的自组织本性时，要注意防止放任自流的倾向，而在注意对于社会系统的发展进行调控时，又必须注意防止相反的倾向即以为社会系统的发展是可以服从人的主观意志的。特别是，人们的实践和认识总是有时代的局限性的，客观社会系统又处于发展变化之中，社会系统归根结底是自组织的而不是被组织的，这就决定了对社会规律的认识总是有局限的。相应的一定的调控措施即对规律的能动的应用也是有局限的，决不能看作一成不变、时时处处有效的。不能以既有的认识去代替对于发展着的现实的不断的发展，我们只能是在尊重、遵循社会的自组织本性和规律基础上的社会系统工程。

包括生产、消费和积累过程的社会经济是最重要的社会子系统。从经济角度看，社会系统工程并非使得社会经济变成计划经济。社会系统从根本上是自组织的，这就决定了社会经济的运行必须符合社会系统运行的规律，因此从根本上看应该是自组织的，而不是被组织的，理应以市场经济为导向。但是，市场经济并不等于

---

① 钱学森等著．论系统工程．长沙：湖南科学技术出版社，33

完全抛弃经济计划，也不等于纯粹在黑暗中进行瞎撞。当然，市场经济中进行一定的计划并不等于实施计划经济。在市场经济条件下的政府对于经济的调控，一般而言，一是这种调控实际上是宏观的调控，政府不应该也不可能去干涉一个一个企业的产品，二是这种调控一般是间接的调控，政府并不直接介入每项具体的经济活动之中。资本主义社会早期的经济学家认为社会经济系统应该是无需政府干预的自由市场经济。20 世纪 30 年代的世界经济大萧条使人们认识到，即便是资本主义的经济系统也必须由政府施加适当的控制，才能减轻自由市场经济本身所蕴涵的极大的危险性。从实践上看，西方国家政府对于社会经济活动的宏观调控，也有不断加强的趋势。

一个国家或社会的人口和年龄结构的演化又是一个典型的社会系统。最近 100 年来世界人口增长 5 倍多，中国人口增长 3 倍，这个事实激起人们对人口控制问题的关切。中国控制论专家从理论和应用两个方面对人口控制进行了系统的定量研究，在数学模型、人口指数、人口系统动态分析、稳定性理论、人口预报、人口结构和人口发展过程的最优控制等方面都取得了许多重要结果，创立了人口控制论。[①]人口控制论创立，为人口系统工程奠定了理论基础，并成功地为我国的人口政策提供了科学依据。

总之，承认社会系统的自组织，并不等于否认对于社会系统进行控制。同样的，承认社会系统的控制，实施社会系统工程，也不等于否认社会系统的自组织本性。自组织和被组织，自由发展和实施控制，是相互依存、相互渗透的对立的两极。社会系统的健康发展，社会系统优化演化的实现，是一种辩证的过程，必须充分发挥人的积极的能动作用，协调好它们的关系。当然这种协调工作是非常复杂的，特别是还存在一个人与自然的关系问题。

---

① 宋健、于景元著．人口控制论．北京：科学出版社，1985 年

## 9.4 科技、经济、社会和环境的持续协调发展

协调人与自然的关系离不开协调人与人的关系，同样协调人与人的关系也离不开协调人与自然的关系，人和自然的关系与人与人的关系是密切联系在一起的。人、自然和社会最终走到一起来了。社会系统的协调发展，人的生态系统的协调发展，或说这两对关系的协调发展，毕竟是有着内在联系的。

图9-1-2所示的自然—社会系统结构中，有五大(子)系统，它们是人类自身生产系统，自然生产系统、物质资料生产系统、精神生产系统和政治产生系统。

为了推动整个社会的向前发展，提高人类的物质和精神政治文明以及维护人类的生存环境，必须加强这五大系统的建设，所以归结为五大文明建设，即人类自身生产建设，地理系统建设，物质文明建设，精神文明建设和政治文明建设。这里要着重探讨自然—社会系统中的(狭义的)社会、环境、科技和经济的持续协调发展关系。

可持续发展既是发展模式、战略选择，是人类社会发展的一条正确的道路。这是以保护自然资源环境为基础的，以激励经济增长为条件，以改善和提高人类生活质量为目标的发展模式和战略目标。

协调是手段，在促进经济快速增长的同时，必须注意充分利用科学技术的力量，使自然资源得到合理、综合的开发、利用和保护，使经济的发展与环境的发展相协调，使自然生态系统得到保护。

具体说来，持续协调发展包括以下内容：①

1. 人类自身再生产与自然环境容量的持续协调发展。人类通过生儿育女繁衍后代，以扩张人类自身的生物本能。在近200年，

① 参考：吴延涪著．新自然史．北京：化学工业出版社，1993年，364—373

人类自身再生产速度过快，造成对自然环境的沉重压力。因此，必须在有限的地球上确立人口容量，在不损害环境和不耗尽可合理利用的不可再生资源的情况下，在不断提高人类生活质量、延长有活力的寿命的要求下，确立出地球资源在长期稳定状态基础上能供养人口数量，严格控制人口指数增加，一起达到人类自身再生产与自然环境容量间长期稳定之间的协调发展。

2. 经济再生产与自然再生产的持续协调发展。自然再生产是指在自然规律的支配下，根据自然气候条件缓慢地、有序地进行的生产和再生产过程。经济的再生产总是与自然的再生产过程交织在一起的，这在农业、采矿业、伐木业、捕捞业、畜牧业等部门表现得最为突出，它们或多或少总是受着自然再生产过程的制约。倘若人类只注意经济再生产的增长，而不注意自然再生产过程的补偿和顺利进行，对自然资源的利用超过其自然生长的速度和自然再生产的能力，那必然使自然再生产的能力受到破坏，从而影响自然再生产的正常进行。因此，经济再生产与自然再生产必须协调发展，既遵循经济规律也遵循自然规律，以达到经济再生产与自然再生产的协调发展，使整个社会的再生产过程顺利地持续发展。

3. 经济系统和生态系统的持续协调发展。经济系统是由人类生产、分配、交换、消费和积累等经济活动所组成的系统。人类在从事各种经济活动时，必须把经济规律和生态规律结合起来考虑，注意经济效益与生态效益迭加的综合效益，以达到经济系统与生态系统的协调发展的良性循环，人们在进行经济活动时，必须尊重生态规律，维护生态平衡，在利用自然资源时，注意保护自然资源和自然环境，避免对自然环境造成难以恢复的破坏，实现经济系统与生态系统的协调发展。现代生态学进一步与社会经济密切结合起来，经济生态学、或生态经济学应运而生，水利工程、露天开矿、工业设施等大型经济建设活动对于生态环境的影响及其宏观的经济价值，均提出要求要以生态学观点去进行评价和分析，城市规

划、区域规划也纷纷要求生态学工作者参加研究、设计和评价，并逐渐被社会所广泛接受。

为了调节科技、经济、社会复杂巨系统与环境的关系，使其能持续协调发展，有必要研究其运行机制。其中包括：

1. 持续、协调发展的动力机制。

任何事物的发展都有内在的和外部的驱动力，科技、经济、社会与环境之间亦存在驱动力问题，存在着如图 9-4-1 所示的动力机制，包括需求机制、启动机制、支撑机制、保障机制等等。

| 动力机制 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 需求机制 | | | 启动机制 | | 支撑机制 | | 保障机制 |
| 社会需求 | 特殊（军事、政治） | — | 政治动员 | — | 政治、经济文化、心理 | | 体制<br>科研基础设备<br>人员组织<br>经费<br>信息资料<br>法律<br>政策<br>奖励 |
| | 一般 | — | 期望满足 | | | | |
| 经济需求 | 计划 | — | 课题委托 | — | 经费、物质条件 | | |
| | 市场 | | | | | | |
| 科技需求 | 学科发展 | — | 理论、方法 | — | 价值判断 | | |
| | 科技人员 | — | 使命感兴趣 | — | 精神满足 | | |
| 生态环境需求 | | — | 危机感 | — | 公众舆论 | | |

图 9-4-1　科技、经济、社会和环境持续协调发展的动力机制

2. 持续协调发展的反馈机制。

这里，反馈就是根据过去操作的情况调整未来的行为。人类社会内部各子系统，以及人类社会与生态系统都普遍存在着反馈机制。它是使系统进行物质、能量和信息互相交换，改善系统行为、功能，排除干扰，实现协调稳定优化发展的重要机制，亦是实现科技、经济、社会与环境持续协调发展的重要机制。图 9-4-2 就是以经济

系统为例勾划出的反馈机制。

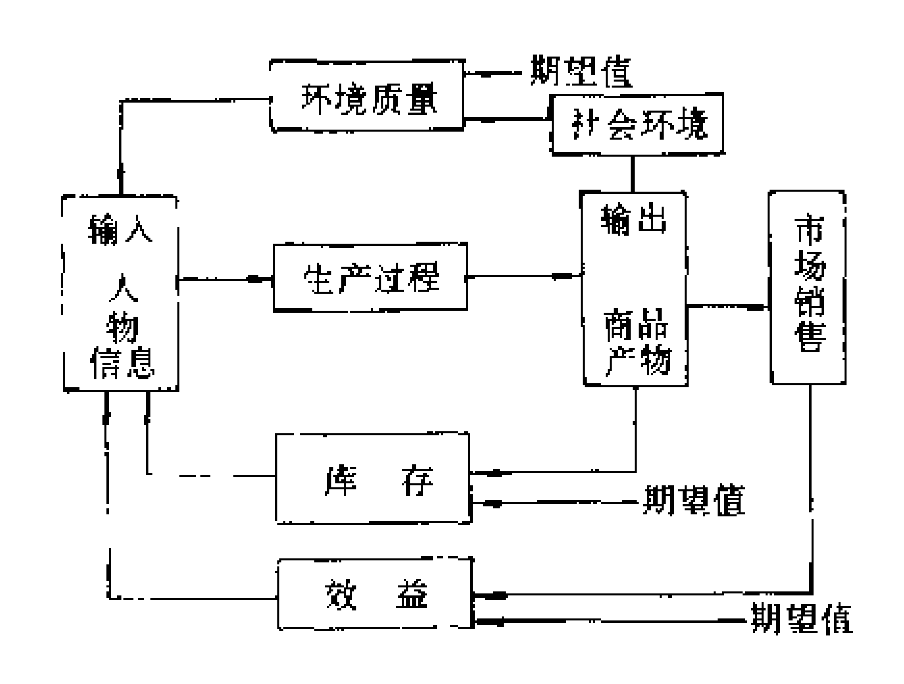



图 9-4-2 经济系统反馈机制

对于科技、经济、社会和环境持续协调发展，人们根据决策输入一定的人、物、信息，使人类在科技、经济、社会诸方面进行协调的活动，其中存在着反馈机制。结果输出新的人、物、信息，一方面给人类社会维持社会物质和精神的生产和再生产的扩大，一方面对生态环境造成负面影响。这里有两种反馈信息，一是生活水平与额定生活质量指标(期望值)比较，找出人类活动带来的偏差作为信息反馈给决策部门，这里生活质量就是生活水平在人类社会生活中的反馈因子；另一方面，输出的人、物、信息给环境造成的危害，与环境质量目标(期望值)进行比较，将信息反馈给决策部分，以影响下一个决策过程，这里环境质量就是人类社会活动影响生态环境的反馈因子。其中生活水平目标和环境质量目标都根据各个不同发展阶段的可持续发展的宏观目标确定。

我们以图 9-4-3 把上述的自然一社会系统的反馈机制示意出来：

要实现这样一些持续协调发展，就要树立新的发展观，要实

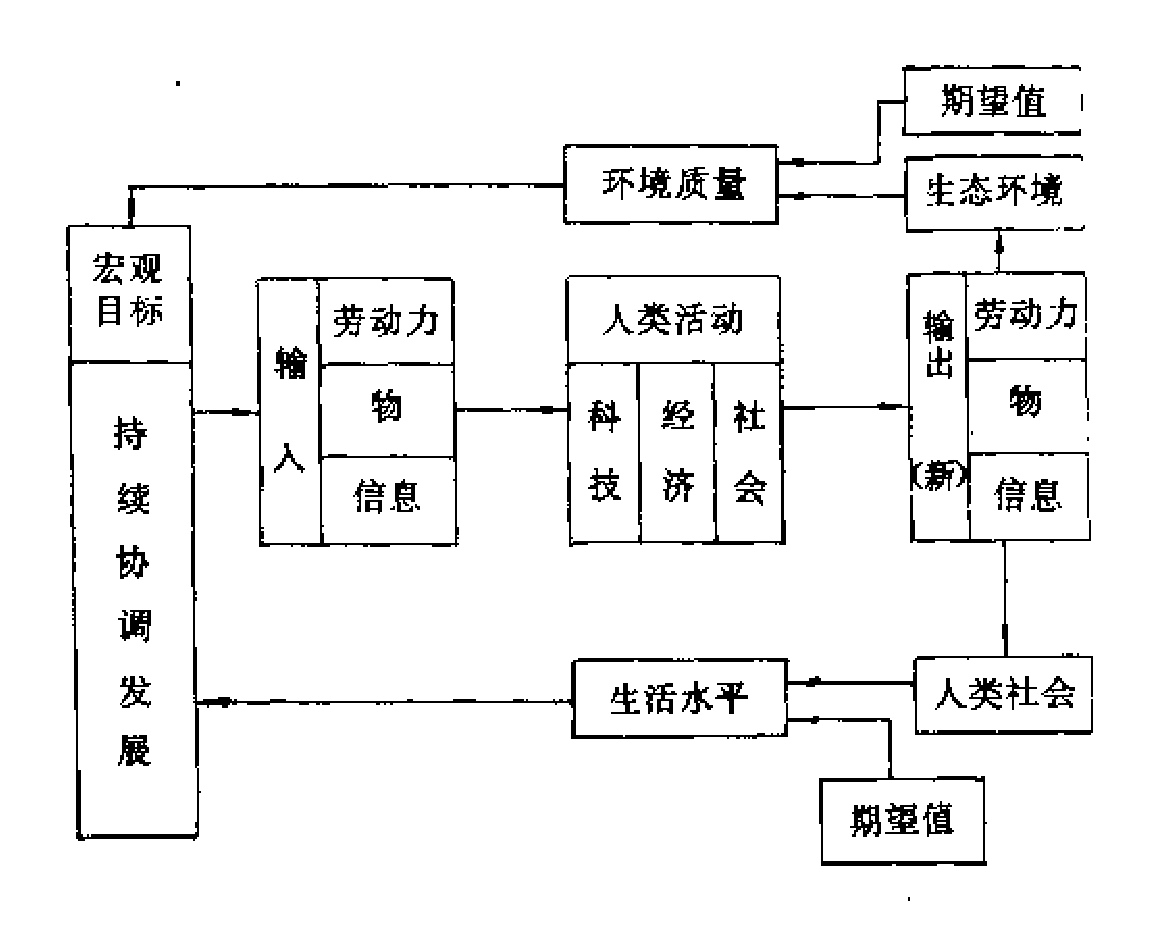



图 9-4-3　自然—社会系统反馈机制示意图

现社会、科技、经济与环境系统的持续协调发展。科技与社会、经济是三个相对独立的系统，三者相互依存、相互适应、相互促进。其中科技发展是持续协调发展的动力，经济发展是持续协调发展的中心，社会发展是持续协调发展的目的。三者之中任一个方面的发展都需要考虑有利于其他两者的发展以及整体协调发展，并且最终要与环境效益联系起来加以考虑。这种协调要以目标协调、机制协调、后果协调加以具体体现。目标协调指的是科技、社会、经济协调的宏观总目标与各自的子目标之间的发展要相匹配、相协同。子目标必须体现总目标。机制协调是指三者之间运行机制的协调，如果说宏观总目标仍然是科技、经济、社会协调的逻辑起点的话，那么"运行机制的协调"则是三者持续协调发展的保证。后果协调就是指在科技、经济、社会协调发展给人类社会生活带来的直接、间接、积极、消极的影响时，要立足整体进行统筹规划、兴利除弊，充分利

用法律调节、行政调节、经济调节和教育调节等手段的协同管理作用，注意城市生态系统和农村生态系统的协调发展，并积极进行有效的国际合作，使三者效益兼顾，服从大局，都要与环境问题联系起来考虑。

我们只有一个地球，人类就生活在这个地球上，人和自然的关系问题、地球的生态问题是全人类共同面临的问题。随着东西方冷战的结束，和平和发展是当代世界的两大主题，我们面临一个重建世界社会、政治、经济新格局的新形式，面临着解决地球生态危机、协调人与自然关系的生死悠关问题，这对于世界人民，既是挑战，又是机遇。

# 第三篇　系统论的基本原理

整体性、层次性、开放性、目的性、稳定性、突变性、自组织性和相似性，是种种系统的 8 种基本特性，每种基本特性也就是系统的一个基本方面，将它们进一步的概括，就形成了系统论的 8 条基本原理。

---

当我们讲到"系统"，我们指的是"整体"或"统一体"。

——贝塔朗菲　《一般系统论》

## 10　系统整体性原理

系统整体性原理指的是，系统是由若干要素组成的具有一定新功能的有机整体，各个作为系统子单元的要素一旦组成系统整体，就具有独立要素所不具有的性质和功能，形成了新的系统的质的规定性，从而表现出整体的性质和功能不等于各个要素的性质和功能的简单加和。

### 10.1　系统的整体性

整体性是系统的最为鲜明、最为基本的特征之一，系统之所以成为系统，首先就必须要有整体性。

钱学森说："什么叫系统？系统就是由许多部分所组成的整体，所以系统的概念就是要强调整体，强调整体是由相互关联、相互制约的各个部分所组成的。系统工程就是从系统的认识出发，设计和实施一个整体，以求达到我们所希望得到的效果。"[①] 这里就强调了系统整体性的重要性及其实践意义。

我们置身于其中的世界是一个系统的多层次的世界，同时也是一个表现出多层次整体性的世界。

首先，种种无机系统体现着整体性原理。宇宙学中，观测宇宙作为一个整体来加以研究。地学中，地球作为一个整体来加以把握。化学中，分子作为整体则已经不等同于原子和原子的简单加和。物理学中，也必须从整体上把握种种物理运动。其次，对于有机系统，同样如此。生物学中，生命体首先是作为一个有机整体，各种生命体的差别，最主要的并非由于组成要素成分不同，而是由于组成要素的结合方式不同。生态学表明，生态平衡也是一个有机的整体，生态失调也就是整体功能失调。再次，在工程技术中，在社会系统中，整体性问题也是一个极为重要的问题。系统分析、运筹学等等，都要从整体上分析、研究、预测和规划系统。一个生产组织具有其中每一个劳动者在单独劳动时所不具有的分工协作的功能，而且整个生产组织的劳动效率也具有整体性，不等同于各个劳动者的简单和。最后，进一步说，对于我们的主观世界，思维也有整体性，正如心理学所揭示的，人的思维具有"完形性"，也就是一种整体性。人的思维能够进行联想，能够把零星的知识综合起来，能够从整体上把握客观对象，也体现了主观世界的整体性。

各种系统理论都不言而喻地把系统的整体性问题作为自己的基本问题或研究的基本出发点之一。

一般系统论的创始人贝塔朗菲这样写道："亚里士多德的论点

---

① 钱学森等著．论系统工程．长沙：湖南科学技术出版社，1982年，204

'整体大于它的各个部分的总和'是基本的系统问题的一种表述，至今仍然正确。"[1] 他认为，一般系统论就是对"整体"和"整体性"的科学探索，从而把以前被看作形而上学的、哲学思辨的概念变成为了一个可定量描述的、可实证研究的科学概念。控制论和信息论研究的是系统整体的信息传递、控制协调以及功能优化等问题。耗散结构论首先考虑的是整体系统的自发组织的种种前提条件，从而开创了动态系统研究的新局面。协同学创立者哈肯把协同学定义为关于子系统合作的科学，从而协同学也就是一种关于子系统之间通过竞争和合作形成系统整体的科学。超循环理论研究的是大分子如何自发组织起来，形成协同整合的超循环组织，从而向更高复杂性进化直至生命起源。混沌学和分形学中，奇怪吸引子具有整体性结构，无穷嵌套的自相似结构也体现着系统的整体性。

从事物存在的方面看，一系统具有的整体性，是这一系统区别于其他系统的一种规定性。反过来说，一系统之所以区别于另一系统，只是因为系统都是作为具有整体性的东西而存在。如果没有整体性的系统是可以想象的，那么这个世界实际上就是没有区别的一团乱麻，世界上的万事万物就是乱七八糟、混乱不堪的，实际上也就成为了一个没有差别的世界。种种系统之所以可以区别开，各自具有相对独立性，就必须各自具有一定的整体性，有了这样的整体性，才有相对的差别性，才是具有质的多样性的世界。一个没有差别的世界，也就至多是一个量的世界，一个丧失了质的规定性的世界，因而就不是一个现实的世界。总之，如果系统不能作为整体事物而存在，系统也就不复存在了，系统整体也就不存在了。

从事物演化的过程来看，一系统具有整体性，也就成为这一系统能在运动中得以保持的一种规定性。一个系统，只有得以保持，

---

[1] 贝塔朗菲．普通系统论的历史和现状．科学学译文集．北京：科学出版社，1980年，309

才有这一系统的演化。如果在演化之中这一系统的整体性消失了，等于说这一系统在演化之中走向了消亡、走向了崩溃。一个系统崩溃了，新的系统又会诞生，无论是这一系统发生了质变形成了新的系统，或是它融入其他系统之中使得该系统发生重大变化，新的系统总是会带来新的整体性。一特定的系统，总是伴随着特定的整体性。随着系统的演化，系统的整体性也要发生变化。一特定系统消亡时，该系统的整体性也就消亡了。而且，系统具有整体性，才有系统的整体变化，才有系统的整体突变，否则系统就仅仅具有量变，仅仅具有逐一发生的系统要素的渐变，就如同从一堆无穷的沙子之中逐一取走沙粒一样。而这是与实际情况不符合的。严格说来，一堆沙子，最好看作是物的堆积，可以称作是简单的集合而不称为系统，或是看作系统的极限情况——两极相通也就不再是系统。系统，正如其定义指出的，它是由要素、部分有机联系起来的整体。

从相互作用是最根本原因来看，系统中要素之间是由于相互作用联系起来的。系统之中的相互作用，是非线性相互作用，这就使得系统具有了整体性。对于线性相互作用，线性相互作用的各方实际上是可以逐步分开来讨论的，部分可以在不影响整体的性质的情况下从整体之中分离出来，整体的相互作用可以看作各个部分的相互作用的简单迭加，也就是线性迭加。而对于非线性相互作用，整体的相互作用不再等于部分相互作用的简单迭加，部分不可能在不对整体造成影响的情况下从整体之中分离出来，各个部分处于有机的复杂的联系之中，每一个部分都是相互影响、相互制约的。这样就有了每一个部分都影响着整体，反过来整体又制约着部分。近代科学信奉原子论的分析观点，恰恰与近代科学信奉线性律、以追求运动方程的线性解为自己的崇高目标相一致。而当数学家最先证明实际上线性系统的测度几乎为零，即系统几乎都是非线性系统，这就已经告诉人们，我们的世界在本质上是一个非线性的世界，现实的系统几乎都是非线性系统。而从整体与部分的关系

看来，这恰恰是说，系统具有整体性是必然的、普遍的和一般的。

## 10.2 整体和部分，分析和综合

系统的整体性，常常又被说成系统整体大于部分。古人已经天才地猜测到整体不同于部分，整体大于部分。所谓的整体大于部分，作为一个关于整体与部分关系的最一般哲学命题，其实质是说系统的整体具有系统中部分所不具有的性质，系统整体不同于系统的部分的简单加和即机械和，系统整体的性质不可能完全归结为系统要素的性质来解释。一般系统论的创立者贝塔朗菲就曾指出："'整体大于部分和'，这句话多少有点神秘，其实它的含义不过是组合特征不能用孤立部分的特征来解释。"①

人们常常说，系统整体与系统部分之间，实际上存在三种关系，即整体大于部分和，整体等于部分和，以及整体小于部分和。"三个臭皮匠，顶个诸葛亮"，这是整体大于部分和。而机械的加和，一堆沙子，一筐水果，都是部分和等于整体。"一个和尚担水喝，两个和尚抬水喝，三个和尚没水喝"，则被视作部分和小于整体。当人们在作这样的划分时，人们所讨论的问题的层次已经发生了转移，人们所论的问题的一般性已经降低了，在从纯粹的哲学领域逐步地迈向科学的领域了。整体大于部分，这里是普遍性最大的哲学命题，无疑仍然是有效的。而一旦对于普遍性加上更多的条件限制时，普遍性也就在向特殊性转化，普遍性命题也就在向特殊性命题过渡。另外，对上面的讨论而言，在相对低一个层次讨论部分和整体的关系时，部分和是否等于或不等于整体，其实质就在于部分之间有没有协同作用。部分之间如果具有协同作用，那么就其有这种协同作用所决定的性质而言，部分和就会大于整体。部分之间如果

① 贝塔朗菲著．林康义、魏宏森等译．一般系统论．北京：清华大学出版社，1987年，51

没有协同作用，实际上是不存在相互作用，仍然是各个独立的，那么就这种互不相关的性质而言，部分和就等于整体。部分之间如果也存在着相互作用，但这种相互作用不是协同的相互作用；它们没有造成所论方面的整体的优势，三个和尚互相扯皮就反而没有了水喝，其结果就可以表述为部分和小于整体。

系统的整体性原理，总是在系统和要素、整体和部分的对立统一之中来把握系统的整体性的。

系统是由要素组成的，整体是由部分组成的，要素一旦组合成系统，部分一旦组合成整体，就会反过来制约要素、制约部分。所谓的“整体大于部分”，也是这种情况的概括。又正如原子不等于分子、个人不等于社会一样，整体就是整体，部分就是部分，整体与部分互相区别。就整体有别于部分而言，这种区别是客观的，是不以人的意志为转移的，因而也就是绝对的、无条件的，否则就无所谓整体和部分区别的客观性了。

但是，系统和要素、整体和部分的区别又是有条件的、相对的。观测宇宙作为一个整体，星系只是它的部分。银河系作为一个整体，太阳系又只是它的一个部分。太阳系也是一个相对独立的整体，我们的地球只是它的一颗行星。……物质世界的层次性，也反映着这种整体与部分区别的相对性。一个系统，对于它的要素成为系统，而对于更高层系统它就成为这个更高层系统的要素了。客观世界形成的是普遍联系之网，整体与部分的区别也就只能是相对的、有条件的。在实践中，人们往往根据实际的需要，对于系统进行分类，可以根据系统的一种性质来分类，也可以根据系统的其他性质来分类，这样的分类可以是没有交叉的，也可以是具有交叉的，这就更能体现出系统与要素、整体与部分区别的相对性了。

总之，系统与要素、整体与部分是互相区别的，但是，这样的互相区别是有条件的，在一定的情况下可以发生转变。

系统的整体性原理，又总是与分析和综合联系在一起的。

分析是把整体分解为部分来加以认识，认识部分是分析的主要任务。客观世界本来总是处于相互联系之中的，但人们为了深入认识部分，同时也是为了更好地认识整体，就不得不把特定系统、整体从普遍联系中暂时划分出来，分门别类地、孤立静止地加以剖析。正因为如此，科学研究是离不开分析的，离开了分析就不可能深入事物的内部、就不能剖析事物的细节。由此可见，分析是认识走向深化的前提。科学发展的历程表明，近代科学正是借助于分析的方法大踏步前进，取得辉煌成就。也正是由于这个原因，分析就一度被当作了唯一的科学方法，以致几乎成为科学研究中的偶象。

综合则与此相反，它是把部分综合为整体来加以认识，认识整体是综合的主要任务。为了实现综合，就要把各个部分、各个要素、各个方面联系起来，有机地组织起来，使之成为一个有机的整体。显然，真正的综合并非把诸多部分、诸多要素、诸多方面简单地混合在一起，机械地加和在一起。真正的综合要求揭示系统的部分、要素、方面所不具有的整体性质，发现全新的系统整体才具有的性质。科学研究离不开综合，离开了综合就不可能认识研究对象整体，也不可能认识对象整体内部的部分、要素、各方面之间的本质的、统一的联系。于是我们可以说，综合是分析的深入，也是分析的归宿。当代科学研究范式从分析走向综合、从分门别类研究走向系统综合研究，是科学思想的革命和进步。

从部分和整体的关系、分析和综合的关系来看，系统整体之所以具有整体性，只因为它是系统中的要素、部分有机联系的综合，也是系统中多种关系的统一和协调。

一方面，系统是由要素组成的，不存在没有要素的系统，没有要素的系统只是一种“空”系统，从而也就不是现实存在的系统。另一方面，要素是系统的要素，不存在完全脱离系统的要素，完全脱离了某一特定系统的要素，也就成为了另一独立的系统。分子是由原子组成的，分子中的原子已经不是独立于分子的原子。有机体是

由细胞组成的，有机体中的细胞只是该有机体的组成部分，并非是全然可以离开有机体的。一个有机体，如果将其加以肢解成为它的组成部分，它就死亡了。

反过来，已经被肢解成为部分的东西，就不再是有机体，如果再堆积在一起，也不会成为有机体。黑格尔指出："譬如一只手，如果从身体上割下来，按照名称虽仍然可以叫做手，但按照实质来说，已不是手了。"[①] 生命是这样，即使是非生命体，甚至一个机械系统，部分要组织成为一个有机的整体，也不能仅仅堆积在一起，而要具有某种"有机"的配合。正如离开整体的分析是片面的分析一样，缺乏分析的整体也是混沌的整体，停留在思维中的整体。

正如部分和整体、系统和要素是不可分离的一样，分析和综合也是辩证联系在一起的，单纯强调某一个方面是片面的。近代科学崇拜分析，而且几乎把科学方法等同于分析，这就带来了它的机械性，成为形而上学的温床。而传统的整体论，一是由于时代科学的限制，一是强调整体时又过分了，以至它的"综合"往往成为研究深入的障碍。正如恩格斯指出的："以**分析**为主要研究形式的化学，如果没有它的对极，即**综合**，就什么也不是了。"[②] 系统科学也强调综合，但这是一种在分析基础之上的综合，是不离开分析的综合，也是在综合之中的分析，因而也就是在辩证法意义上的对于事物整体的综合。系统的整体性原理，赞成的也就是这种在分析基础之上的综合，在综合之中的分析。

## 10.3 系统论、原子论和整体论

系统具有整体性，但是不能归结为整体论。系统论之所以在当代得到了极大的重视，不仅在于它具有科学的形态，而且更重要的

① 黑格尔．贺麟译．小逻辑．北京：商务印书馆，1982年，405

② 恩格斯．自然辩证法．北京：人民出版社，1971年，206

是它既有这样的科学形态，又是一种新的思维方式，发生了深层思维方式的改变。系统哲学家拉兹洛也曾指出：传统的整体论和原子论"两种思维都难免有不足之处：前一种用信念和洞察代替了翔实的探求，后一种牺牲了融会贯通以换取条分缕细。"① 具体说来，系统论既不同于传统的原子论，也不同于传统的整体论，还与近代科学的系统概念有重要的差异。

系统论，与传统的原子论相区别。

按照原子论传统，高层次现象归结为低层次实体来解释，事物整体行为归结到部分来加以解释，相应地，事物的质就归结为量来进行解释。片面的强调分析，体现的正是这样的原子论传统。从原子论出发，进行研究时要把对象整体分解为部分，整体就仅仅在对于部分的研究之中来加以理解，从而整体也就等同于部分了。换言之，部分也就取代了整体。事实上，这种理解也就把世界仅仅分解为了肢零破碎的部分，如果说还有整体的话，那么整体就等同于部分的简单加和，即整体 $= \sum$ 部分 。近代科学把这样的思想作为自己的武器，坚持的正是这样的原子论的分析观。

原子论的分析观，是一种只见树木不见森林的片面观点。它对于科学发展的初期，对于科学的初步进步来说，是完全必要的，甚至是必不可少的。这样做时，可以使人们关于对象的知识得以深入。但是，当科学的知识积累起来，当人们的认识由一个个点发展到需要进一步弄清这些点之间的联系，需要把个别的知识综合起来，原子论纲领的局限性就明显起来。系统科学的兴起，是与克服这样的片面性相联系的。也正是在这个意义上，系统范式的形成就代表了科学研究范式的一种转变。一般系统论的创立者贝塔朗菲就这样写道："我们被迫在一切知识领域中运用'整体'或'系统'概

---

① 拉兹洛著．闵家胤译．用系统论的观点看世界．北京：中国社会科学出版社，1985年，14

念来处理复杂性问题。这就意味着科学思维基本方向的转变。"[①]

系统的整体性也有别于传统的整体论(holism)。

传统的整体论,虽然正确地看到了原子论观点的局限性,而试图从整体上来把握事物,这无疑有其合理性。但是,由于时代科学水平的限制,这样的整体往往成为一种没有具体内容的整体,从而也就只是没有内容的整体性,或者也可以是暧昧不清的整体性。一方面,这样的整体论,往往成为伪科学或非科学的避难所。在一定的意义上,近代科学中的种种生命力论、活力论正是这样的整体论。另一方面,这种整体论,实际上又在很大程度上不再鼓励对于对象进行科学研究,整体就是整体,除此之外,再也无话可说,从而实际上往往在科学的名义下就取消了科学。我们也可以将其称为没有分析的综合性。不过,更严格说来,没有分析的综合已不是现实的综合。而且,正是在综合指导下的分析和在分析基础上的综合,把系统论与整体论区别开来。

传统东方思维中,以强调事物整体方面见长。体现在宇宙观上,各种学说都强调宇宙一体,天人合一,天人相通。这也是一种传统的整体论,尽管这种整体思维有其独特的优点,我们也不得不承认它缺乏分析的缺陷,甚至可以说是一种致命的缺陷。缺乏分析的整体是具有片面性的整体,不是真正意义上的整体、系统的整体。当代科学发展要求把两种传统结合起来并发扬光大,这也是当代系统科学思想发展的富有启迪性之处。

现代科学系统理论中的系统整体性,还与近代科学之中的"系统整体性"相区别。

系统这一概念,作为一个科学中的概念,是随着 19 世纪热力学的兴起进入科学之中的,并且在热力学中得到了明确定义。但

---

① 贝塔朗菲著. 林康义、魏宏森等译. 一般系统论. 北京:清华大学出版社,1987 年,2

是，最初的热力学对于系统的描述只是唯象的，对于系统的定义是一种类似普通集合的定义，是不问系统之中的要素之间的相互联系方式和途径的，深深打下了传统整体论的烙印。在分子运动论中，到了统计力学中，虽然也初步接触了系统中要素之间的相互作用，但也仅仅是把它们作为某种平均作用来处理，是不追究要素之间的差异和联系的，如果要素之中的确表现出某种差异，譬如出现了某种偏离了平均作用的涨落，那么这种偏离和涨落也就仅仅被看作某种为人们所不希望的对于系统稳定的破坏性因素。而事实上，正是在差异之中的整体，才是现实的整体，也才表现了真正的系统整体性。没有差异的整体实际上是不存在，事实上没有整体是不存在差异的，系统的整体性正是系统要素、部分的差异之中以系统整体方式表现出来的系统的一种同一性。

现代系统理论注意到系统论与传统的整体论以及原子论的联系与区别。

在20世纪50年代，与贝塔朗菲一起创立一般系统论研究会的拉波波特，他在1986年出版的《一般系统论》一书中用了相当长的篇幅专门讨论了“分析方式和整体方式”与系统方式的区别和联系。在拉波波特看来，系统方法实际上是分析方法和整体方法的整合：“一般系统论的方式将试图把分析的和整体的观点，描述性的和规范性的观点整合起来。我们的目的是要证明这些观点决不是不能共存的，它们揭示关于系统论的统一处理方式的互补的、不同的方面。”[①]

在实际应用上，系统自组织理论研究中使用的中观方法，其实质就是试图以此来吸取整体论和原子论之长，并避免两者的不足。中观方法，在耗散结构理论研究中体现为局域平衡假设。对于一个

---

① 拉波波特著，钱兆华译，闵家胤校．一般系统论——基本概念和应用．福州：福建人民出版社，1993年，8

非平衡系统，将系统划分为宏观上足够小、微观上足够大的单元，从而勾通宏观和微观、整体和基元。哈肯在《高等协同学》中专门讨论了中观方法，他写道："在微观层次上用各个原子或分子的位置、速度及其相互作用描述所研究的液体。在中观层次用许多原子或分子的集合描述液体。假定这种集合比原子之间的间距大得多，但比正在演化的宏观模式小……当我们研究连续分布的系统(各种流体、化学反应等)时，我们将从中观层次出发，并且预测演化的宏观模式的方法。"①

总之，系统论吸取了整体论从整体上看问题的长处，以及原子论深入分析的优点，注意克服它们各自的片面之处，试图将两者整合起来，形成部分和整体、分析和综合相结合的系统整体性原理。

① 哈肯著．郭治安译，赵惠之校．高等协同学．北京：科学出版社，1989年，25

在现代观念中，实在是有组织实体的庞大的层次序列；从物理系统、化学系统到生物系统、社会系统，高踞于梯级的高层。科学的统一性，不是把所有的科学虚幻地还原为物理与化学，而是来自实在的不同层次的一致性。

贝塔朗菲 《一般系统论》

# 11 系统层次性原理

系统的层次性原理指的是，由于组成系统的诸要素的种种差异包括结合方式上的差异，从而使系统组织在地位与作用、结构与功能上表现出等级秩序性，形成了具有质的差异的系统等级，层次概念就反映这种有质的差异的不同的系统等级或系统中的等级差异性。

## 11.1 系统的层次性

系统具有层次性，层次性是系统的一种基本特征。

我们的世界是一个多层次的世界。恩格斯在《自然辩证法》中，就根据当时的科学认识指出："物质是按质量的相对的大小分成一系列较大的、容易分清的组，使每一组的各个组成部分互相间在质量方面都具有确定的、有限的比值，……可见的恒星系，太阳系地球上的物体，分子和原子，最后是以太粒子，都各自形成这样的一组。"[①] 按照我们今天的认识，从观测宇宙——总星系、星系、恒星、地球、地面物体、分子、原子、质子和中子到电子，以及在 20 世纪陆续发现的 300 多种基本粒子乃至更深层次的物质结构，就是按照

① 恩格斯．自然辩证法．北京：人民出版社，1971 年，248

空间尺度或质量大小划分的客观世界的最一般的系统层次。社会系统也是一个多层次系统。个体、群体、单位、社区，直到省市、国家，就是这个系统中的一个层次序列。历史上官分八品，爵分五等，现代学校分为小学、中学和大学，也都是社会系统中的不同层次。精神系统也有其层次性。首先其物质载体——人的大脑是一个多层次的系统，古皮层、旧皮层和新皮层，就是三个主要的层次。人的认知有感觉、感知、悟性、理性的不同认识层次。方法论有工艺方法、技术方法、经验方法、理论方法、哲学方法，逐步由具体进入抽象、由个别上升为一般，形成了有差异的等级。

系统的层次性犹如套箱，这里的一个最直接结论是，系统和要素、高层系统和低层系统具有相对性。

我们知道，系统是由要素组成的。但是，一方面，这一系统又只是上一级系统的子系统——要素，而这上一级系统又只是更大系统的要素。另一方面，这一系统的要素却又是由低一层的要素组成的，这一系统的要素就是这些低一层次要素组成的系统，再向下，这低一层的要素又是由更低一层的要素组成的，这低一层的要素就是这更低一层要素所组成的系统。一系统被称之为系统，实际上只是相对于它的子系统即要素而言的，而它自身则是上级系统的子系统即要素。客观世界是无限的，因此系统层次也是不可穷尽的。科学史上，人们一再以为向外到达了天际，达到了最外层系统，又以为向内到达了终极之石，达到了最内层系统；在认识史上，也经常可以听见有人宣称获得了最终真理，穷尽了人们的认识，但无论是在主观领域还是客观领域，新的发现却又使得界限一再被打破，人们又认识了更大的、更深的系统层次。客观世界是不可穷尽的，人们对于系统层次性的认识，无论是深度上，还是广度上，都是没有尽头的。

高层次系统是由低层次系统构成的，高层次包含着低层次，低层次从属于高层次。高层次和低层次之间的关系，首先是一种整体

和部分、系统和要素之间的关系。高层次作为整体制约着低层次，又具有低层次所不具有的性质。低层次构成高层次，就会受制于高层次，但却也会有自己的一定的独立性。有机体由器官组成，各个器官统一受有机整体的制约。但与此同时，各个器官又有自己的独立性，在发挥自己的功能时有着一定的独立性。化学分子也是这样，分子是由原子组成的，分子中的原子受到分子整体的制约，往往会部分丧失自己的独立性，但是与此同时，正如活性基团、活性原子所表现的那样，分子中的原子也有其一定的独立性。一个系统，如果没有整体性，这个系统也就崩溃了，不复存在了。相反的情形，一个系统，如果系统中的要素完全丧失了独立性，那也就变成了铁板一块了，其实系统同样也就不存在了。

系统的层次区分是相对的，相对区分的不同层次之间又是相互联系的。往往可以看到这样的情况，不仅是相邻上下层之间受到相互影响、相互制约，而且是多个层次之间发生着相互联系、相互作用，有时甚至是多个层次之间的协同作用。系统发生自组织时，系统中出现了的众多要素、多个不同的部分、多个层次的相干行为，它们一下子全都被动员起来，使得涨落得以响应、得以放大，造成整个系统发生相变，进入新的状态。精神现象也是这样，我们知道，大脑具有皮层功能定位的差异，又有皮层分工的不同，人的精神现象往往是主要与大脑的一定功能定位区、一定的皮层相联系的，同时也要涉及其他区域和层次，而对于复杂的精神现象，则必定是多功能区、多皮层之间发生联合作用的结果，譬如对于知、情、意的统一思维，则正是其物质基础——大脑这样的多层次、多部位系统的多层次的、多部位的协同整合作用的结果。

系统的层次性具有多样性。人们可以按照质量来划分系统的层次，可以按照时空尺度来划分系统层次，可以根据组织化程度来划分系统层次，可以根据运动状态来划分系统层次，也可以从历史长短的角度来作出划分。一般而言，这样或那样的划分，总是跟实

践的要求联系在一起的。例如，从运动发展角度，可以划分出机械运动、物理运动、化学运动、生命运动和社会运动的不同层次。包尔丁给出的系统层次主要阶层非正式一揽表中，按照运动来划分的层次是，静态结构、时钟机构、控制机构、开放系统、低级有机体、动物、人、社会文化系统和符号系统。[①] 又例如，历史研究中，可以划分出远古时代、古代、近代和现代。而且，显然对于每一层次，又可以从中划分出多个层次。系统层次的划分，虽然是与实践相联系的，但并不意味着这样的划分是纯粹主观的划分，而是客观世界层次多样性的反映。事实上，系统层次的多样性，反映的是系统内要素之间客观的、纵向联系差异性之中的多种共性，是统一性之中的多样性以及多样性之中的统一性，而且统一性也是多层次的统一性、多种方面的统一性。正如要素之间毫不相关、完全各异是不可想象一样，系统内要素完全平等地处于同一水平上也是不可想象的，如果是可以想象的，那也只是一种理想化的抽象，是对客观实际的一种简化。

## 11.2 结构和功能，发展的连续性和阶段性

系统的不同层次，往往发挥着不同层次的系统功能。

例如，在分子层次上，分子是物质的化学性质得以保持的最小单元，而原子层次上的原子则是物质的化学变化之中的最小单元，再向下我们就进入了原子核层次，这时涉及到的是核反应了。又例如，在大脑的三个主要层次中，最内层的爬虫复合体部分，信息加工主要涉及到机体的生理活动，包括调节躯体、内脏活动，对环境作本能性适应等。次内层是边缘系统，这里的信息加工不仅涉及到躯体内脏的活动，还体验着感情和情绪，与记忆密切相联系，即涉

---

① 参见：贝塔朗菲．林康义、魏宏森等译．一般系统论．北京：清华大学出版社，1987年，26—27

及到机体的心理活动。最外层的新皮层，这里的信息加工不仅与机体的调节、情感和情绪的调节相联系，更重要的是与理智和智慧相联系，这里调节着认知、学习、意志、抽象、预见等高级的反映意识活动。这里所说的三个主要层次，大致相当于前面所说的古皮层、旧皮层和新皮层三个层次。它们在种系发生上是相继出现的，反映了动物意识从生理意识、心理意识到反映意识的发展。

不同层次具有不同功能，与层次的结合强度有关，也与层次的结构有关，结合强度反映的是相互作用即系统组织的内容，层次结构反映的是组织方式即组织结构的形式。

一般而言，低层系统的要素之间具有较大的结合强度，而高层次系统的要素之间的结合强度则要小一些，随着层次的升高，结合强度也就越来越小，这正如从客观世界最一般物质层次所表现的那样。要素之间结合强度较大的系统，具有更大的确定性，更为确定不移。反之，要素之间结合强度较小的系统，则具有较大的灵活性，更为灵活机动。系统的确定性与灵活性，作为系统适应外界的一种能力的表现，它们是相互联系、相互制约的两极，确定性大则灵活性小，反之灵活性大则确定性小。从较大的确定性到较小的灵活性，决非一步到位的，而是要经过多阶段的发展才能实现的，这样的阶段的发展一经凝固下来，就表现为系统的层次性，形成了多层次的系统。作为思维的器官——大脑，这个可能是宇宙中最为复杂的系统，就是一个多层次的极为高度灵活的系统，同时也是一个高效的系统。而且，正是它的这种高效灵活，才使得人能够应付客观世界的千变万化，使得人的高度能动的自反映的思维能力成为可能。

系统具有层次性，系统的层次又是相对的，这就意味着，任何一个系统，它都起着双重功能。一方面，它需要该系统中的要素联系起来，形成一个协同整合的统一系统。也只有这样，才成其为系统。另一方面，它又是更大系统的子系统，它在这个更大系统中起

着要素的作用.它构成了这个更大系统的基础。不同层次有其不同质的规定性,不同质的系统之间又有联系性,系统的这种双重功能就是一种不同系统之间的联系形式,系统的层次之间形成的这种相互联系,使得系统处于不同层次的普遍联系之中,处在某种普遍的层次包含和交叠之中。系统哲学家拉兹洛看到了系统的这种双重作用,他把这种双重作用称之为协调界面(coordinating interfaces)作用,并认为:"它们起的作用是把它们自己各部分的行为结合成齐心合力的一种行为,然后又把这种共同的努力同更高一个层次系统内其他组成部分的行为结合在一起。一切自然系统,如果它们要维持自己的存在,就必须起到这样的作用。"[1] 不过,在我们看来,不是界面使得自己的各个部分结合起来,而是各个部分的内在的相互作用使得自己结合起来,并与其它部分形成明显的差异,所谓界面正是这样的差异的界面。

系统的结构和功能的层次性实际上是与系统的发展相联系的。自然系统进化的路线表明,进化就是分化出和产生出新的层次系统,并相应的有了新的功能。首先,在化学分子的水平上出现了耗散结构,出现了这样一种最低级的活系统。大分子自组织发展最终导致了生命起源。生命又有从低级向高级的发展。所有的这些发展都既是组织的发展,也是功能或机能的发展。事实上,组织发展与功能机能的发展是具有相应性的,组织的发展和功能的发展必须是相互适应的。

从发展的眼光看,系统的层次性即是系统发展的连续性和阶段性的统一,系统发展的连续性和阶段性的统一就表现为系统的层次性。

在一定的意义上,一条进化链条上,高层次总是由低层次发展

---

① 拉兹洛.闵家胤译.用系统的观点看世界.北京:中国社会科学出版社,1985年,52—63

起来的，正如超循环理论揭示的那样，高级循环总是由低级循环发展会聚而成的。具体说来，按照超循环理论，循环可以分为催化循环、自催化循环和超循环，自催化循环由催化循环发展会聚而成，超循环又由自催化循环发展会聚而成，而超循环还可以发展会聚为更高级的超循环。相反的方向上，高层次也可以退化为低层次，高级循环可以退化为低级循环，低级循环还可以进一步退化为更低级的循环，这正如我们在生物体死亡后所见到的那样，生物体死亡后，逐步腐烂分解，复杂大分子分解为简单小分子。值得注意的是，这只是在一定意义上，或者在一定阶段上，这个结论才是正确的结论，如果不加条件的作出这样的结论，则就与系统的整体性相背离，譬如说，按照我们今天的知识，我们的整个观测宇宙就是作为一个整体发展起来的，并在发展过程中发生种种分化，这里既有低层次发展起来高层次，也有高层次、整体的分化以及推动了低层次的演化。

如果系统的发展仅仅是连续的，那么就不会形成有层次的系统，而只能是某种均匀向上、直线向前的系统。反过来，如果系统的发展只是间断的，那么系统的发展就会完全中断，就不会有系统层次之间的连续性。现实世界中，发展既不会是大道平坦，可以一往直前，也不会是由于存在某个终点站，发展到此为止。系统的层次性，表现出来的是作为系统整体的客观世界系统在发展中的连续性和间断性的统一，也是系统发展得以实现所必须采取的方式，是系统发展遵循某种优化途径的结果。无论是物理系统、化学系统，还是生物系统，乃至社会系统，都是等级层次系统，这也就反映了这种发展的间断性与连续性统一的发展规律。因为发展具有间断性，才会形成系统层次，又因为发展具有连续性，才会有不同系统层次之间的联系。

从概率论的角度进行的研究表明，对于两个同样的系统，一个按照这样一个途径发展：即从已有的层次结构的组成部分再向上

发展出一个更高层次的系统。另一个系统则采取这样一种发展途径:从同样数目要素的非层次结构出发来形成系统。那么,前一个系统的发展速度要比后一个系统快得多。究其原因,具有层次结构的系统在解体为各个层次上的子系统时,各个子系统的结构并不因此而全部解体,而当非层次结构的系统解体时,它们就会分解为各个基本的组成要素,全部结构都被破坏了。任何系统在发展过程中,都会受到许多随机的扰动,只有那些迅速弥补损失并加以重建的系统,才能成功地发展起来。事实上,一般说来,后一种发展方式,即采取非层次途径的发展,由于它们极不稳定,稍有扰动就会遭到破坏,所以很难发展起来。如果有所发展的话,一是不可能稳定存在,二是不可能稳定发展,也不可能有大的发展。

## 11.3 层次、类型和方法

现实的系统层次性决定了层次性问题在系统理论中的重要性,也决定了关于系统层次的认识具有认识论方法论意义。

贝塔朗菲指出:"层次序列的一般理论显然是一般系统论的主要支柱。"[①] 一般系统论中是这样,控制论中也是这样,其他种种系统理论中,也都要用到这一重要概念。事实上,古人思考问题时,也自觉不自觉地运用了层次概念,例如中国古人就认为,天分九重,地分十八层,他们构造的《周易》八卦也具有层次结构,道生一、一生二、二生三、三生万物,既是分化过程同时也体现了过程的层次。而古希腊的亚里士多德也构造了一个九重天的宇宙模型,还把世界划分为月上世界和月下世界两个层次,他的著名的四因说也是有层次的,最高的层次就是作为终极因形式的形式。现代科学中,各门学科都要考虑对象的层次性问题,物质结构涉及到物质系统

① 贝塔朗菲. 林康义、魏宏森译. 一般系统论. 北京:清华大学出版社,1987年,25

的层次问题，研究不同的运动形式也就是要考察物质运动的层次性问题。社会科学中也是如此，社会学要研究社会的层次体制，管理中也要考虑组织层次。系统科学中则对于层次问题加以专门研究。

我们用系统的层次性来揭示系统的纵向的等级性、处于不同水平的共性。那么，我们同样也可以从系统的横向揭示系统的多种状态及其共性，这就是系统的类型性。世界不仅可以分为不同的层次，还可以划分出不同的类型。例如，物理学中，声、热、光、电就是不同类型的物理运动。化学中，金属、非金属就是不同类型的化学物质。生物学中，植物要进行分类，动物也要进行分类。知识领域也可以分为不同的类型，不同的学科，不同的研究方向，也就是不同的知识类型。一定的类型，往往贯穿多个层次，同类型之中也可以具有多个层次。一定的层次，也往往横跨多种类型。层次和类型实际上是紧密联系的，这种纵横交错，就构成了世界的系统普遍联系之网。如果讨论系统的结构和组织时，仅仅看到系统具有层次性，实际上也是一种片面性，还必须注意系统具有类型性。系统的层次性原理，要求我们从系统和层次的辩证联系之中来把握系统、把握系统的组织性。

正确把握和运用系统层次性原理，把它转化为认识方法，具有重要的实践意义。

耗散结构理论中，创造性地提出以非平衡系统局域平衡假设为基础的中观方法。这就是以非平衡系统中局域平衡假设为基础，认为整个系统虽然处于非平衡态，但在局部即局域时空中仍然可以看作是处于平衡态的，这样的局域相对于微观是充分大的，相对于宏观则是充分小的，从而就可以作为相对于微观来说是系统，相对于宏观来说当做质点加以处理，所求出的宏观量也就看作时空中的点函数。这样一来，实际上就把一个系统划分为宏观、中观和微观三个层次，在三个层次上建立不同形式的方程进行讨论，从而

建立起研究简单巨系统的统一的模型，揭示出简单巨系统演化发展的规律。

协同学中，正是把系统变量划分为快变量和慢变量两个层次，看到慢变量在系统演化之中作为序参量的关键作用，抓住了系统演化的主要矛盾，才得以建立起协同学，推动了对于系统自组织演化内部机制的认识。在"系统整体性原理"中，我们已经指出，哈肯在《高等协同学》中还专门讨论了中观方法。

在超循环理论中，看到相互作用是循环系统的根本内容，找出循环的三个基本层次以及三个基本层次之间的基本联系，从而开创了探索生命起源的新局面，并且推动了我们对于系统演化形式的认识。按照超循环理论，这三个基本层次是从低级到高级的反应循环、催化循环以及超循环，不同层次的循环具有不同的特性，反应循环是自再生的，催化循环可以进行自复制，超循环则进而具有了进行选择的能力。超循环理论也可以称之为关于循环层次组织的理论，这一理论表明，在多层次的循环组织中，高级循环是由低级循环会聚而成的，高层次内在地包含有低层次，从而揭示了系统层次性与系统演化性的内在联系，系统中不同层次之间的内在联系。

控制理论中，大系统模型具有维数高、关联复杂、目标多样等特点，使用传统的建模方法十分困难。因此，就必须引入"多重建模"、"分解"和"简化"的原则，也就是以结构分析为指导，通过层次分解确定针对不同目标的建模类型，使状态空间分解，把整体建模转化为低维子系统的建模，并通过各种简化手段使模型具有简单易解的形式。而在对于大系统实施控制时，也采用了不同的控制方式和结构，这时一般不再采用集中控制，而广泛采用分散控制和递阶控制。分散控制中各分散控制器是同级的，一般只能导致次优解。将分散与集中相结合就构成了递阶控制。递阶控制一般分局部控制、分阶控制、协调控制等几级，每一级又有许多分散控制。一

个大企业、一个地区、一个国家的控制结构显然都是递阶结构。这里可以看出，递阶控制是建立在系统层次性的基础之上的，实际上它是一种层次控制。但在控制论中，还专门把分层控制作为一类特殊的递阶控制。例如，把总任务进行分层，最高层次是慢扰动的自组织层，次高层是较慢扰动的自适应层，第三层是较快扰动的最优化层，第四层才是快扰动的直接控制层，由此直接与被控对象或过程发生联系，从而得以实现优化高效控制。值得指出的是，任何控制都是依赖于信息来实现的，因此不同层次的控制就需要有与其相应的信息来控制，信息也具有层次性，相应地信息方法也具有层次性。

外因是变化的条件，内因是变化的根据，外因通过内因而起作用。

毛泽东 《矛盾论》

# 12 系统开放性原理

系统的开放性原理指的是，系统具有不断地与外界环境进行物质、能量、信息交换的性质和功能，系统向环境开放是系统得以向上发展的前提，也是系统得以稳定存在的条件。

## 12.1 系统的开放性

我们生活的世界是一个系统的世界，现实的系统都是开放的系统。

我们所面对的世界是一个开放的世界，形形色色的各种系统，无论它是物理的、化学的，还是生物的，乃至是社会的，都处在开放之中。不与环境接触的、不向环境开放的系统是不存在的。事实上，因为客观世界是一个多层次的世界，任何系统都是相对的，即系统都是具有环境的，因而也就都是按一定程度向环境作某种开放。即使是我们的主观世界，也必须是对环境即客观世界开放，暂且不论如果这个主观世界的物质载体不向环境开放就不能够生存下去，离开了对于环境的开放，主观世界的认识就如同无源之水是不可想象的一样，主观认识本身也是不可想象的，实际上也就根本没有了主观认识。退一步说，一个已经形成一定思想观念的人，一个已经具有一定知识水平的人，如果他从此闭目塞听，不与外界接触，把自己与外界封闭起来，思想就会僵化，知识也会老化，最终也因跟不上历史的发展而在精神上先行死亡，纵然他的肉体还可以生

活更长时间。

自然科学早在19世纪就已严格证明，一个系统如果处于封闭状态，与外界全然没有任何交换，那么这个系统就只会自发地走向混乱无序，或迟或早总会走向“死亡”，即热力学第二定律意义上的均匀无序的热平衡混沌态。这也正是热力学第二定律的熵表述所揭示的内容：一个孤立的系统，其熵增不小于零，即只会自发向均匀无序、组织解体方向演化。我们知道，在热力学中，对于系统的开放与否，作了更严格的区分，它把与外界只有能量交换而无物质交换的系统称作封闭系统，而将完全没有物质能量交换的系统称作孤立系统。在本文中，为了不引起误解，我们所说的封闭系统，就是指的在热力学第二定律意义上的孤立系统。热力学第二定律实际上已是以否定的方式告诉我们，只有开放，系统才可能自发组织起来，系统才可能有向更有序状态的发展。现实的系统都是开放系统，因而也就是具有发展潜力的系统，真正孤立的封闭的系统只存在于人们的理论抽象之中，虽然这种抽象对于科学研究是具有重要意义的，但是我们却不能将其作为绝对的东西来理解，不能将其作为全然现实的东西来理解，我们要切切记住它们仅仅是某种近似。不过在实践上，在一定的条件下，我们可以人为地造成近似封闭的条件，得到近似封闭的系统。这时，我们切切不要忘记所谓的封闭是相对的，而不是绝对的。

经典科学的理论研究中，并不刻意注重系统的开放性问题，或者是将其作为理所当然，或者是根本就没有考虑这个问题。早期的热力学理论中也不更深入地研究系统的开放性问题。而在20世纪的系统理论研究中，这个似乎并不起眼的开放性问题，却成为了系统理论发展的一个突破点。

一般系统论的创立者贝塔朗菲在20世纪30年代提出了开放系统的稳态理论，他对于开放性进行定性考察，并把它与系统的稳定性联系起来，回答了新活力论者杜里舒的海胆实验的挑战。海胆

实验表明，从一个完整的卵，从切成两半的卵、从两个融合为一个的卵，都可以正常发育成一个海胆个体，这里出现了异因同果现象，在杜里舒看来这是与物理定律相矛盾的，只有用活力论才能解释。按照贝塔朗菲的见解，这只不过是封闭系统观点与开放系统观点之间的矛盾，开放系统只要达到稳态就必定表现出异因同果性，即从不同的初始状态经过不同的途径可以达到相同的位置，从而表明生命现象并不违背物理学规律，解释生命现象时并不需要神秘的活力论。

薛定谔在讨论"生命究竟是什么"时，接触到这个开放性问题，他提出"生命赖以负熵为生"的著名论断，这里就必然要求生命是开放系统。特别是，关于系统自组织演化的理论，也正是在这个过去人们觉得是不起眼的地方首先取得突破的。耗散结构理论率先定量地考虑了这一不成问题的问题，并以一个既简单又深刻的公式开创了研究系统演化的新局面：$dS=d_eS+d_iS$。这一公式指出，在开放条件下，按照热力学第二定律，此时只要系统内熵产生 $d_iS\geqslant0$，而对于系统与环境之间的熵交换则没有确定的要求，即 $d_eS$ 可正可负。当 $d_eS<0$ 时，系统把熵产生排入环境中，相当于系统从外界引入负熵。如果系统充分开放，从外界引入了足够的负熵，使得 $|d_eS|>d_iS$，则有 $dS<0$，于是系统的总熵本身就降低了，这也就意味着系统有序程度的提高，系统可以自发地组织起来，形成有序结构。于是，耗散结构理论就在不违背热力学第二定律的情况下，使得克劳修斯退化论与达尔文进化论的冲突得以协调起来，即使得物理世界终归处于江河日下演化之中的图景与生物世界由简单向复杂、由低级向高级发展的图景得以协调起来，使得这个百年来的两幅截然相反的演化图景在更高的水平上统一起来。

在系统理论中，系统的开放是系统自组织演化的前提条件之一，非平衡也是系统自组织演化的前提条件之一。耗散结构理论就是这样来讨论问题的。实际上，系统的开放与系统的远离平衡是一

个问题的两个方面，系统远离平衡离不开系统的充分开放。完全不开放的系统，也就是封闭系统，必定走向无序的热混沌状态，即退化为平衡态，当然也就无远离平衡可言。系统处于这样的平衡态时就不可能重新自发地自组织。即使系统处于近平衡状态时，系统与外界的种种交换也会逐渐减少，因而也就是开放程度的逐步降低，最终使得系统内的熵产生大于从环境之中引入的负熵，从而导致系统内部自发地趋于无序无组织。要使系统远离平衡，必须充分开放，而要保持系统远离平衡，保持充满活力，也必须保持充分开放；充分的开放，使得系统与环境的充分交换成为可能，也就使得系统远离平衡成为可能。总之，封闭系统，其前景是走向平衡的无规无序的热平衡态；近平衡系统，如果没有进一步的开放、从环境引入负熵，那么也不会向非线性非平衡方向发展，也就无法冲破发展阻力、自发组织起来。现实世界中，平衡程度与开放程度互相制约，共处于某个度的统一性之中，提供了系统得以发展演化的基本前提。

## 12.2 内因和外因，系统与环境

系统向环境开放，使得内因和外因联系起来，才有了内因和外因之间的辩证关系。

对于事物的发展变化，对于一个系统的发展变化，唯物辩证法告诉我们，内因是变化的根据，外因是变化的条件，外因通过内因而起作用。为使外因通过内因而起作用，这就需要系统与环境之间、内因与外因之间发生相互联系和相互作用。否则，内因就只能滞留于内因之中，而外因则总是处于内因之外，面内因对于外因来说，只是潜在的可能性；同样地，外因对于内因来说，也只是潜在的可能性。一个封闭的系统，系统与环境之间是没有任何联系的，内因与外因也就是不可能发生任何联系的，也就是没有相互作用的。除非是有着某种超自然的原因，也就是除非是把科学变为巫术，否则内因与外因不可能发生任何相互联系。现实的世界中，现实的系

统都是开放系统，系统总是处于与环境的相互联系和相互作用之中，通过系统与环境的交换，潜在的可能性就有可能转化为现实性，转化为现实的东西。于是，通过开放，内因与外因发生相互作用、相互转化，引起系统发生质量互变。最初是系统从环境引入某种量的变化，发生某种量的变化，进一步的发展，终于发生了质的变化，量变转变为质变，进而又开始了新的量变。

系统开放，系统与环境的作用是相互的，这就同时意味着，内因和外因的作用也是相互的，看不到系统内因的根据作用不行，看不到系统外因的条件作用也不行，仅仅只强调其中的任何一个方面都是片面的。现实世界中的系统，总是存在不同程度开放性的系统，因而总是发生着系统与环境的相互联系和相互作用，总是存在着内因和外因的相互作用、相互转化，从而系统总是处于发展演化之中的。通过系统与环境的交换，内因可以利用外因提供的可能性，从而把自己转化为现实性。交换不是单方面的，而是双方面的，正是在这种双向的联系和交换中，内因可以利用外因，外因反过来也可以利用内因，从而在这种双向的互利互惠中，系统与环境都得以优化。这正是生命的进化所表现出来的东西，贝塔朗菲在他1945年发表于《德国哲学周刊》的关于一般系统论的论文就曾指出："开放系统的特性正是有机体具有不断做功能力的根据所在。"①原始地球孕育了原始生命，原始生命反过来又改造了原始地球，还原性大气转变成为氧化性大气，使其更能适应生命的蓬勃向上，才终于有了地球上的鸟语花香，精神之花盛开怒放。《自组织的宇宙观》一书的作者詹奇已经接触到这种系统与环境的互利互惠，在进化中的互相推动。他将其称作为系统与环境的"共进化"，

---

① 贝塔朗菲．朴昌根译，戴鸣钟校．关于一般系统论．自然科学哲学问题丛刊，1984年4期

并作为“正在形成的自组织范式”的基本观点之一。[1] 系统与环境的共同进化，正是系统对于环境开放的结果。

系统的开放，通常说的是向环境的开放。实际上，由于系统层次的相对性，那么从系统的层次性角度来看，这种向环境的开放即意味着系统的低层次向高一层次的开放。这同时也就意味着，正如系统的层次具有相对性，系统的环境也就具有相对性。反过来看，我们甚至可以说，系统的开放，同时也指系统向自己的内部的开放。系统向高层开放，使得系统可以与环境发生相互作用，可以发生与环境之间的既竞争又合作。而系统向低层开放，使得系统内部可能发生多层次的、多水平的在差异之中的协同作用，更好地发挥系统的整体性功能。这样来理解的开放，就更为全面了，就不再把开放仅仅理解为外在的东西，面成为内在的东西了。对外开放，对内搞活，实际上正是反映了这样的开放。

由于系统的开放，系统的结构和功能的关系也就成为了现实的关系。人们早已认识到，系统的结构决定了系统的功能，而系统的功能又反作用于系统的结构，系统的结构和功能是互相联系的、互相制约的辩证关系。一系统的质总是在与他系统的作用之中才得以表现的，也就是通过系统的功能表现出来的。一个封闭系统，对于外界而言，是没有功能可言的，毋宁说是没有功能的。功能是一系统对于另一系统的作用，系统封闭起来，没有相互作用也就谈不上功能。这恰恰是说，系统的功能只存在于系统与环境的相互作用之中，而系统只有开放，才有现实的相互作用，因此也只有开放才有现实的系统的功能。

正如“系统学者们一致认为‘系统’概念并不局限于物质实体，

---

① 埃里克·詹奇著．曾国屏、吴彤、宋怀时等译．自组织的宇宙观．北京：中国社会科学出版社，1992 年，15

也可以应用到任何由相互作用的‘组分’组成的‘整体’。”[1] 开放也不能只看作某种类似实体一样的有形概念，也可以是关系之间的开放。系统开放与环境发生的交换，不仅仅是物质的交换，同时也包含着能量、信息的交换。往往有这样的情形（正如热力学上的封闭系统与孤立系统之区分所表明的），系统与其环境之间的交换，主要指的是能量或信息的交换。当然，我们知道，物质、信息和能量三者总是密切相关的，一定的物质总是对应着一定的能量，而信息以物质为载体，信息交换离不开物质交换；信息传播离不开能量的耗散，这又说明，信息交换的同时也离不开能量的交换。科学的发展和社会的进步，使得信息概念史无前例地重要起来，我们的时代常常被称之为信息的时代。当代科学研究中和社会通讯中，信息资源作为一种无形资源，往往是一种比有形资源更为重要的资源。我们所说的学习新东西，掌握新情况，思想上要开放，实际上也是强调了一种关系，而并没有说其是一种实体。

## 12.3 开放度，选择性和发展

系统的开放有一个开放程度问题。[2]

系统的开放程度为零，系统与外界隔绝起来、没有任何交换，这就成了封闭系统。封闭系统缺乏自组织的活力，难有发展。反之，如果系统全然向外开放，开放程度是百分之百，系统没有相对于环境的边界，对于与外界的交换毫无过滤和选择，那么，系统与环境融为一体，系统本身也就不复存在了。因此，系统之对于环境，既不能是完全封闭的，也不能是完全开放的。充分开放，只是在系统得以保持基础上的充分，是在系统得以稳定发展基础上的充分，而非

---

① 贝塔朗菲著．林康义、魏宏森等译．一般系统论．北京：清华大学出版社，1987年，99

② 沈小峰、吴彤、曾国屏著．自组织的哲学．北京：中共中央党校出版社，1993年，32页

无条件的越开放越好。系统的充分开放，并非是系统的完全开放，而是系统的适度的开放。一个系统之所以可以成为活系统，有其相对独立自主性，那是因为该系统是适度向环境开放的。

对于一个自组织系统，系统的开放度、系统的适度开放主要是靠系统自身的自我调节机制来保证的。这样的调节机制的存在，使得系统的有条件地、有选择地、有过滤地向环境开放成为可能，它既使系统保持一定程度的自主性，也使系统具有应付环境变化的灵活性。生命体对于环境是充分开放的，但这种开放是有选择、有过滤的开放，新陈代谢、适应环境是有条件的。生命体中，生命体的基本组成例如细胞，它也是要通过自己的一系列机制、通过细胞膜来进行有条件的开放的，也要使得自己的独立性在一定程度上得以保持。自组织系统的开放，都是有选择的开放，以有利于自己的自组织发展，在这样的意义上，无选择的开放一方面对于系统的自组织是无意义的，另一方面对于系统的自组织又是破坏性的。

开放不仅是系统自组织的前提，面且是“活”系统得以在动态之中保持稳定存在的前提。人们往往以为要使一物得以稳定存在，就要把该事物与环境隔离起来，使得该事物完全不受外界环境的影响。而正如上面的热力学第二定律提示的，这种想法实际上是不现实的，一个与环境完全隔离的系统，事实上总是要自发走向无组织无序的。而且，诸如晶体那样的近似平衡的系统，尽管它可以是稳定的，但却是一种“死”结构，不具备自组织能力。因此，即使把事物隔离起来，使之保持相对稳定，那么也只能是将其作为一种僵死的东西来加以保持。在实践上，虽然这是有意义的，如同在保持长度度量标准“米原器”时所采取的措施。但是，活系统如生命系统，却无法这样来保持稳定。活系统，只知道在开放之中来保持自己的稳定，一旦系统封闭起来，系统就迅速地走向了死亡。

只有开放，才可能使系统充满并保持活力，这不仅是自然科学认识的结论，也是社会科学认识发展的结论。正如多民族的融合产

生了华夏文明，东西方文明的交融诞生了古希腊的辉煌，对外大力开放出现了盛唐景观，向世界各地开拓资本市场有力地推动了资本主义崛起，近代中国闭关锁国使得自己开始逐渐落伍于西方。人类文明史的发展已经证明，一个民族，一种文明。只有开放，才有生机盎然，才有大的发展，才能自立于世界民族之林，才能自立于世界文明之林。在当代社会，由于科学技术手段的高度发展，先进的交通和通讯手段使得世界各国的联系空前紧密起来，可以说，世界上的任何一个国家都已经不可能不与其他国家发生联系，也就是不得不向其他国家开放。"开放"，已经成为现代社会生活中运用频率最高的词汇之一。我国总结 40 年来社会主义革命和社会主义建设实践的经验教训，深切地认识到改革开放对于中华民族生存发展的重大意义，对于具有中国特色的社会主义的重大意义，把改革开放写入了中国共产党的百年不变的基本路线之中。

开放并非仅仅是一个空间概念，而且也是一个时间概念。开放并不仅仅单指空间的开放，不仅仅指的是横向的、地域的开放，而且也是时间的开放，也包括面向未来开放。如果说，在自然科学的领域这一点的表现并不突出的话，那么，在社会科学领域，这种面向时间的开放就是十分明显的了。我们的改革开放，就不仅是面向世界的开放，而且也是面向未来的开放。事实上，任何系统，讲到它的发展本身就是强调它在时间上的演进。因此，即使它的发展在空间方面有突出表现的话，那么也必然是与时间密切联系的，发展本身就是时间，时间表象系统发展的内在生命节律。从发展的角度看，开放的本质就是面向未来的。停滞的开放是不存在的，而开放的停滞也是不可能的。

在当今的社会，任何一个社会系统都不可能完全把自己封闭起来。但是，如果这样的社会系统走向另一个极端，如果是不加选择地对外放开，那么这样的系统最终就会被其他系统取而代之，自己就消亡了。正是从这个角度上讲，掌握系统的开放性原理，对于

我们今天的改革开放，具有十分重要的现实意义。1840年以来，帝国主义列强用炮舰强迫封建的中国大开门户，这种“开放”就不是系统自组织的开放，而是被迫的向列强们的开放，其结果是独立的中国丧权辱国，沦陷为“半殖民地”，成为列强们的附庸。我们今天的改革开放，坚持的是独立自主与对外开放的统一的原则，是在独立自主基础上的对内搞活、对外开放，这才是系统自组织演化所要求的开放，这种开放才可能发展起一个强大的繁荣昌盛的自立于世界民族之林的社会主义中国。

真正的果决性或有目的性是存在的，这就是目标的预见决定实际的行为。

贝塔朗菲 《一般系统论》

# 13 系统目的性原理

系统目的性原理指的是，组织系统在与环境的相互作用中，在一定的范围内其发展变化不受或少受条件变化或途径经历的影响，坚持表现出某种趋向预先确定的状态的特性。

## 13.1 系统的目的性

目的性是组织系统发展变化时表现出来的一个鲜明的特点。

目的性是一个古老的长期引起争论的概念。亚里士多德认为事物的存在和变化有四种原因：质料因、形式因、动力因和目的因。其中，质料因是指事物由什么构成，形式因是指事物具有什么样的形式，动力因是指什么力量推动质料变成它的形式，目的因是指事物的形成是为了什么目的。他把自身目的的完全实现，称之为“隐德来希”，自然界万事万物的发展变化都是有目的的，都有这个往往是神秘的“隐德来希”在起着支配作用。对于运动物体，其目的就在于趋向自然静止位置。而在莱布尼茨看来，每个实体都有自发趋向最完满发展的目的。康德也很重视目的问题，他把目的问题划分为内在目的和外在目的，前者指存在目的性动因，后者指有用的结果。在他看来，一部分自然物具有目的性动因，一部分具有目的性功能，一部分两者兼有之。近代科学以来，目的论是以作为机械论的对立面出现的，人们觉得机械论有不令人满意之处，尤其是机械论对于生命现象的描述难以令人满意，但是近代科学的目的论却

更难以令人满意，总体上显得似是而非的，似乎只有在生命界才表现得最为充分，运用于其他领域只不过是一种拟人化、拟生命化的东西；在实践上，它往往摆不脱神秘的超自然力量的阴影，与全能的主宰、第一推动有着千丝万缕的联系，难登科学大雅之堂。

系统科学的兴起，赋予了目的性以全新的科学的解释，使之重新成为一个重要的科学概念。在一定的意义上，系统科学正是围绕包括目的性概念的这样一些概念而发展起来的。贝塔朗菲在他创立的一般系统论第一篇经典论文中，即1945年发表于《德国哲学周刊》第18期上的"关于一般系统论"一文中，就把目的性问题作为一般系统论的最基本问题之一来加以讨论。在贝塔朗菲那里，目的性又被称作等终极性，亦被译作果决性即蕴涵结果决定原因的意思。贝塔朗菲认为，作为绝大多数无生命系统与生命系统的基本对立的目的性，首先是与系统的开放性相联系的，开放系统才有异因同果或等终极性。它写道："对开放系统行为的研究导致自然哲学上具有深远意义的结果：在生命事件中尤为明显的目标追求性的等终极形式，是从作为一个开放系统的有机体的特性中必然地合乎规律地得出的，而人们曾把目标追求性看作只能在活力论中才能得到解释的生命本质。"[①]贝塔朗菲还进一步指出过三种目的性，即异因同果型，反馈稳定型和适应行为型。[②]

维纳等人合作发表于美国《科学哲学》1943年第1期上的控制论的第一篇经典论文，其标题"行为、目的和目的论"就已经点明了目的和目的性对于控制论的重要性。事实上，控制论这一学科是围绕这样的中心观点发展起来的。控制论的创立者们，从系统的行为角度分析了系统的复杂行为，把行为这样的概念变成了一个

① 贝塔朗菲．朴昌根译，戴鸣钟校．关于一般系统论．自然科学哲学问题丛刊，1984年4期

② 贝塔朗菲著．林康义、魏宏森等译．一般系统论．北京：清华大学出版社，1987年．42

科学概念，得以建立起控制论这一崭新的学科的。维纳等人的一个重要结论就是："一切有目的的行为都可以看作需要负反馈的行为。"[1]因此，按照控制论的观点，目的性行为也就成了受到负反馈控制的行为的同义语。这样，"目的"概念就变成了一个科学的概念，从原来似乎只适用于生物界得以延拓，用来描述一般非生物系统类似人所具有的目的性行为。系统的目的可以通过系统的活动来实现，即系统的行为保证了系统目的的实现。而在这个过程中，目的——被看作是预先确定的目标，引导着系统的行为。事实上，控制论所研究的行为都是指的是有目的的反馈行为。控制的目的在行为特征中表现为两个方面：一方面是当系统已处于所需要的状态时，就力图保持系统原状态的稳定；另一方面是，当系统不是处于所需要的状态时，则引导系统由现有状态稳定地变到一种看来是预期的状态。

系统的目的性，在系统的发展变化之中表现出来，因此就必定是与系统的开放性相联系的。这也就是说，一个合目的运动的系统，必定是一个开放系统。由于系统是开放的，通过系统与环境的物质、能量和信息的交换，使得系统受到环境的影响，从而该系统得以影响环境，并在一定的意义上识别环境即针对环境的实际情况作出反应、作出调整、作出选择，使自己的潜在的发展能力得以表现出来。这样一来，系统对于环境的输入必须作出反应，而且又要把自己的对于环境的反应输出给环境、从而影响环境，进而系统又要对于受到影响后发生了改变的环境的输入作出新的反应，于是，在这种周而复始的开放、交换之中，系统的潜在的发展能力得以表现，所谓目的性也就表现于其中了。而且，所谓的系统的潜在的发展能力并非某种超自然的神秘的力量，正如系统理论特别是

---

① 庞元正、李建华编．系统论、控制论、信息论经典文献选编．北京：求实出版社，1989年，284

控制论所指出的那样，是由系统内部的复杂的反馈机制在发挥作用的结果。事实上，对于贝塔朗非提出的三种类型的目的性，即异因同果型，反馈稳定型和适应行为型，都是具有内部反馈机制的开放系统。在这样的意义上，开放的、有自主能力的活系统的确具有发展变化的目的性。

机器的合目的的运动与人的合目的的运动，既相离又相通。机器的目的性往往是人为事先规定的，而人的目的性则是人自己作出的选择，但是这两者都是要借助复杂的具有负反馈的内部机制来实现。而且，机器的可能性空间比起人的活动的可能性空间来，无疑前者的可能性空间要小得多，人工系统的合目的性，作为被人事先确定了目标，实际上是一种人为的目标，这种目标常常并不以对象实体来定义，而是以关于对象的条件来定义的。例如，所谓的导弹可以自动寻找目标，并非导弹可以认识对象实体，而是导弹可以根据对象所发出的不同于其背景即环境的某些特定的物理条件，运用人为设计好的并现实安装于其中的自动反馈机制来对自己的行为作出调整，从而实现跟踪目标对象的该种物理条件进而实现跟踪目标对象这一目的。生命系统的合目的性，特别是人的合目的的行为，也决非某种超自然的神秘力量在作怪，而是以一种更高级的、不违反控制论的包括物质、能量、信息的交换的物理生化过程作为其客观基础的。今天人们，还只能原则上说明这样的物理生化过程，但人们必将越来越深入地更精细地说明这样的物理生化过程。无机的系统在无意识地遵从着合目的地运动变化，而有机的系统特别是人则是有意识地遵从着合目的地发展变化。

## 13.2 线性和非线性，阶段性和规律性

从系统与环境之间的相互作用类型即线性作用与非线性作用方面，我们可以把系统分为单因果系统与目的系统。

近代科学的遗产之一是独立质点的单向因果联系。在分析就

是一切的旗帜下，整体被分解为部分，直至分解为质点，生命有机体被分解为细胞，行为被分解为反射，知觉被分解为点状的感觉，相应地因果关系也是单向的线性的关系。所谓的系统，也只是孤立单元的单因果系统，它与环境之间的作用也是线性的相互作用，而且正是系统内部的线性的相互作用成为了系统与外部的线性相互作用的根据。这时，系统中不同部分之间、不同要素之间的相互联系被忽略不计，相互作用似乎实际上不存在。相应地，环境向系统的一定输入必定引起系统向环境的一定输出，即一定的原因必定引起一定的结果。简单的线性系统就是这样的因果系统。

与此相反，目的系统则是系统与环境之间存在着复杂的非线性相互作用的系统，这种复杂的非线性相互作用表现为系统的复杂的反馈机制的建立，结果在相当大的范围内造成环境向系统进行不同的输入时，系统能够通过自己的反馈调节机制去应付不同的环境影响，表现出自主性、自稳定、自协调，从而产生出相同的或基本相同的输出，使系统仍然保持不变的发展方向性。这样的情况，在生命系统里表现得最为突出，所以人们首先注意到生命系统的目的性行为也就不足为奇了。但是如果把它仅仅看作生命系统的特有现象，就有局限性的了。在这样的意义上，系统之所以具有目的性，其根本原因在于系统内部以及系统与环境的复杂的非线性相互作用，而不论它是物理的还是生物的抑或是社会的系统。

从系统的发展变化来看，系统的目的性一方面表现为系统发展的阶段性。

一切发展变化的系统，都是开放的系统，都是某种有机的自组织的系统。机械系统是没有发展变化可言的，如果说它也有变化的话，那也不是发展中的变化，而无非是由于机械磨损最终走向毁灭，就如运动的钟摆终归会因磨损耗散而慢慢停下来一样。而对于开放的自组织演化系统而言，无论它是物理的、化学的还是生物的乃至社会的，都是既有稳定保持又有在此基础上的发展，稳定恰恰

是由于系统中存在着负反馈机制，从而必定是具有一定目的性、表现出一定合目的行为的系统。这样的目的性表现为两种形式，一种形式是稳定地存在，似乎系统的这种稳定性就是系统发展的目的，达到了这样的稳定态就是达到了相应的目的，并且还要借助自己的稳定机制而尽量保持处于这样的稳定态。另一种是系统的发展采取所谓的会聚式的循环层次增加，向更高的复杂性增长，即逐次地向更高的循环层次跃迁，而且也只有采取这样的循环增长的形式，才可能有稳定的发展。

由此可见，所谓的目的性，实际上也就跟系统发展趋向于更稳定状态相联系。而稳定态指的是系统在一定发展阶段的状态，它是由系统内部和外部的种种关系所具体地规定的，而并非某种泛泛而论的抽象的东西。世界处于永恒的发展变化之中，无所谓最终稳定态可言。因此，系统发展变化的目的性也就总是跟发展的一定阶段相联系的，表现为系统发展变化的阶段性，而无最终目的即永恒目的。如果说系统有最终目的的话，那就是永恒的生生不息的发展变化本身。历史上的目的论者，不少就是因为看不到发展的目的性是有条件的，是与发展的阶段性相联系的，从而失足落入神秘主义的泥潭之中。

系统的目的性，另一方面又表现为系统发展的规律性。

合乎某种目的的发展，也必然是合乎于一定规律的按照一定的逻辑的发展。也可以说，正因为系统的发展是合乎规律、合乎逻辑的，所以才在一定阶段表现为是有目的的。实际上，只讲系统的目的性是系统发展的阶段性还不是真正的系统目的性；同样，只讲系统发展的规律性也不是真正的系统的目的性。只讲阶段性，就把目的性混同于系统发展的阶段性、不连续性；而只讲规律性，则同样体现不出系统的目的性，而且往往会把系统发展看作笔直向前的。实际上，在最一般的意义上，许多物理的、化学的、生物学的现象，诸如所谓最小作用原理、平衡原理、最小熵原理、熵增原理等

等，作为系统在一定阶段一定条件下必定要向它们规定——也可以说是它们指定的方向发展，也可以看作是某种合目的的东西。因为在一定的范围之内，无论外界条件、环境如何改变，它们似乎都是朝向某种预先确定的目标发展变化，似乎都体现了某种结果预先就决定了原因。特别是，诸如相空间中的吸引子、混沌现象之中的奇怪吸引子等等，在一定的范围内，在系统的发展变化或迟或早总会落入这样的吸引子的意义上，它们就更显得像是某种预先就已经决定了的系统发展变化的目标。这样一来，目的性与规律性的内在的联系也就更清楚、其区别也清楚了。

真正的系统的目的性，实际上是系统发展变化的阶段性与系统发展变化的规律性的统一。没有发展阶段性的目的性，即等于说有某种终极的目的性，这样一来就变成为了某种不可思议的神秘的目的性，最终必然成为某种神秘的超自然的目的性。而没有发展规律性，无论怎么发展都行，目的性也就不存在了，因此毫无规律的目的性同样是不可思议的。

## 13.3 目的，确定性与不确定性

与系统的目的性是系统发展的规律性和阶段性的统一相联系，系统的目的性表现出系统发展方向的确定性方面。由于自组织系统自保持、自调节、自稳定，因而系统的发展就表现出某种确定不移的方面。这种确定方面在系统发展完成之后，人们回过头来考察系统的发展时，往往觉得系统的发展是多么确定不移，是多么地合乎预定的目标，以至配得上称作为果决性，即结果决定原因。其实，这不过是一种表面现象，这里并没有发生结果决定原因的因果性逆转，正如超循环理论对于大分子自组织研究指出的，大分子自组织发生选择、进行选择评价得以优化进化是有其物理学基础的，而非某种主观的东西。事实上，发生因果性逆转是不可思议的，是与人的整个实践经验不相吻合的。贝塔朗菲说："把果决性定义为

因果关系的反向，即过程取决于本身将来的状态而不是过去的状态。这样的定义常遭反对，因为根据这个概念，状态 A 就会由将来的状态 B 决定，现存的事物由非现存的事物决定。前面说过，这种表示方式并不意味着非现存的将来有不可思议的'作用'，而只是一种间或有用的表达事实的方式，这个事实本来也可以用因果关系的词句来表达的。"[①]

不过，这种确定性，与机械决定论的决定性或确定性是有着原则性的区别的。机械论的决定论，一旦初始条件给定了，一切也就完全地决定了，原因一定，结果也就一定，由一定的原因就可以推出一定的结果。所以说穿了，原因就等同于结果，原因就是结果，表面上似乎很严格线性因果性，实际上只是原因与结果的绝对同一性，原因就是结果，结果就是原因。

而由系统的内在非线性相互作用所带来了发展变化的确定性则与此不同，这里的确定性是系统的发展变化的规律性与阶段性的统一基础上的确定性。在一定的发展阶段，在一定的范围之内，无论环境条件怎样改变，系统总是要朝着某种确定的方向发展，异因同果，具有等终结性；或者是系统出现适应性行为，根据具体环境进行了调节和选择，出现了新的行为方式，从而适应发生变化了的环境，完成了一个发展阶段。离开了这一阶段，则情况就可能发生根本性的改变，不再具备先前的那种等终结性，如果还有等终结性的话，那也是新的等终结性，即发生新的一轮异因同果现象。如果还要进行选择的话，那就要出现新的适应性行为。这里，正是在多种多样的可能原因中，存在某些可以变为现实的可能原因，原因不等同于结果，结果也不等同于原因，在原因与结果之间存在差异，只有经过系统的内部调整、作出选择时可能性才转变为现实

---

① 贝塔朗菲．林康义、魏宏森等译．一般系统论．北京：清华大学出版社，1987年，72

性，这才有原因，才有因果关系，才是真正的因果关系。原因的转化要求有系统内部的消化，对于具有活性的、能够自我运动和发展的系统，尤其是这样。

系统的目的性原理，要求在目的性与非目的性的对立统一之中来把握。

事实上，对于一个自组织演化发展的系统，由于负反馈与正反馈是同时存在的，依据一定条件的不同而表现出不同的主导地位，负反馈致力于使得系统通过自我调节而保持自我稳定，正反馈则作为系统的不稳定性因素而致力于打破系统的现存状态，促使系统偏离原来的发展“轨迹”，使得系统以前表现的目的性追求现在变得难以达到，所以系统的目的性与非目的性是同时存在的，在不同的系统状态下表现出不同的主导作用。当然，一种目的被破坏了，并非意味着系统不再具备他种目的性了，而仅仅是意味着一种特定的目的不能实现了，系统以前的非目的性转化为新的目的性。由此看来，一般而言，系统的目的性也是与系统的多种可能性空间相联系的，即目的具有多样性、具有层次性，因此控制的目的就是在一个事物可能性空间中进行有方向也包括有层次的可能的选择，这种选择在系统尚未发生重大的变更时就采取措施，从而实现有效的控制，而这种选择在系统内的涨落得以放大时，即系统真正发生质的变化时，就往往是显得苍白无力无法控制了。如果说在通常状况下对系统进行调控，仍不违反系统的自组织调控，那么，在系统发生重大的质变时、对于系统进行调控，要么是无效的，要么就只能是强制性的，以牺牲系统的自组织为代价。

也可以这样来考虑，即系统的发展既有确定性方面，也有不确定性方面，前者表现为系统发展的合目的性的运动，而后者的发展就表现为系统的不合目的性的运动。因此，并非所有系统的发展变化都是表现出合目的的发展变化，它也有其非目的性的方面。如果只看见系统发展的确定性方面，就会落入机械论之中，导致片面的

机械决定论，把一个质的、多样性的世界仅仅当做一个量的、几何的世界。反过来，如果认为系统的发展完全是不确定，则又会落入绝对偶然论，最终导致听天由命之中，于是一切科学、一切研究都是多余的了。

系统的目的性原理，不仅仅是具有理论上的意义，也不仅仅是一种后验的解释，而且是具有重要的实践意义，具有实践上的指导意义的。按照系统的目的性原理，一个系统的状态不仅可以利用其现实的状态来表示，还可以用一定发展阶段的终态来表示，可以用现实状态与发展终态的差距来表示。于是，人们不仅可以从原因来研究结果，以一定原因来实现一定的结果，而且可以从结果来研究原因，按照一定的预先设想的蓝图即结果来要求一定的原因。这是因为，从目的性的角度来看，一个系统的发展运动，实际上就是瞄准这个发展终态，使系统的现实终态与发展终态距离之差逐渐缩小为零，以实现这个发展阶段的终态。因此，这就为在实践上要制备预先确定了目标的系统奠定了方法论的基础，并致力于去设计并制造出相应的反馈机制来实现这样的目标，即实现一定的目的。由此可见，目的性原理也就在一定的意义上体现了人的认识的能动性。这就是说，人的活动的目的性体现着人的认识的能动性，而人的认识的能动性则寓于人的活动的目的性之中。

突变论表明，在科学中可能存在着数学的另一种用法，它将不是定量的，而是完全定性的。

勒内·托姆 《突变论：思想和应用》

# 14 系统突变性原理

系统突变性原理指的是，系统通过失稳从一种状态进入另一种状态是一种突变过程，它是系统质变的一种基本形式，突变方式多种多样，同时系统发展还存在着分叉，从而有了质变的多样性，带来系统发展的丰富多采。

## 14.1 系统的突变性

经过突变而发展变化是系统发展变化的一种基本形式。

突变是一种普遍的自然现象和社会现象。自然现象中，星空中的超新星爆发，地球上的山崩地裂、火山爆发、寒流突至、台风骤起、阴晴忽转；生命领域之中，胚胎发育的某些过程，遗传过程中的基因突变，生病时病情急转直下，病体突然康复；工程现象中，桥梁坍塌，高楼崩溃，河堤决口；社会运动中，战火突起，股票行情大起大落，政治舞台地位突然变换……如此等等突变现象，都是人们熟知的。突变现象不仅在客观世界中彼彼皆是，甚至对于主观领域，对于人的认识，突变现象也起着重要的作用。所谓的心理格式塔的转换，也就是一种精神领域的突变现象；灵感突来，表现的是思维方式从一种状态到另一种状态的突变；人们从大量的人群之中搜索某个人，突然眼睛一亮，找到自己熟悉的人，也涉及到认知模式的突变。

突变现象的普遍存在，使之很早就受到人们重视，在 20 世纪

后半叶终于产生了专门研究突变现象的突变论。在突变论中，突变采取的是 19 世纪初法国居维叶的“突变”一词，但含义已有原则性区别。居维叶最初是用突变一词来说明地层的断裂、古生物的灭绝和大陆海洋的变迁等过程中发生的突变现象。他在对于各个地层中的化石作了大量的长期的观察之后发展了前人关于地球通过大灾难而演变的学说，他指出：地球上曾发生过几次突变，巨大的灾祸曾一次又一次地毁灭了地球上的老的物种，随后大自然创造出新的物种。居维叶在方法论上的著名论断是：“没有缓慢作用的原因能够产生突然作用的结果”。[①] 在他看来，突发性结果只能来自突发性原因，系统的突变的根据仅仅在于系统的外部。而托姆的突变论正好相反，它研究的是连续作用的原因所导致的不连续结果，它认为“原因连续的作用有可能导致结果的突然变化”。突变理论研究的是几乎处处稳定的系统，把研究对象明确限定于连续过程引起的不连续结果，排除了那种处处稳定的或实质性不稳定的系统。它用控制参量的连续变化刻划基本过程，而用状态参量几乎处处连续变化，但在少数临界点上发生突变来刻划系统的演化行为。具体说来，突变论中把系统的外部条件作为控制参量，看作是对系统的一个输入，而把系统的状态看作是系统的一个输出，输出作为输入的函数，突变就是在外部条件即控制参量连续变化时函数发生的一个跃迁，这就是系统状态即输出发生的一个跃迁。通过系统的控制变量的连续渐变，发生系统状态的不连续突变，这就把变化的环境上的原因与系统内部的原因联系起来，需要找出系统内部的不稳定性的根据。

对于尖顶突变的研究中发现，系统通过突变发生状态变化时，表现出：

---

① 魏宏森、宋永华等编著．探索复杂性的新学科．成都：四川教育出版社，1991年，414—415

1. 多模态，突变系统一般具有两个或两个以上的可以分辨的稳定状态，从一个稳定定态到达另一个稳定定态必然受到不稳定域的“阻断”或障碍，于是有了突变。

2. 不可达性。由不稳定稳态点组成的区域穿插在定态稳定点之间，这些点是不能实现的定态点，所以就有了突变。

3. 突跳。控制参量的微小变化即可引起状态变量的极大的变化，使系统从一个稳定结构跳到另一个稳定结构。

4. 滞后。在控制空间中，控制参量沿同一条路线的不同方向变化时，发生突跳的点可能不同。本来似乎应该在分叉点 A 处发生，但实际上继续运动到分叉点 B 处才发生。这就是滞后现象，它反映了突变过程具有不可逆的特征，具有方向性和历史性。

以上的这样一些特征，虽然最先是从尖顶突变中发现的，后来的研究发现这些特征也全部或部分存在于其他类型的突变中，因此在突变中具有一定的普遍意义。

按照突变论讨论系统相变时质的飞跃所揭示的，当系统外部参量即控制参量的个数 $M \leqslant 4$ 时，至少有 7 种突变类型：折叠型，尖顶型，燕尾型，椭圆型，双曲型，蝴蝶型，抛物型。这 7 种突变又相互包含相互联系，使得突变实际上极为复杂。而当外部控制参量再增加时，例如增加一个，则突变类型就增加到至少有 11 种。而且，初等突变论实际上是从平衡系统的研究入手来讨论系统的相变的，非平衡相变时突变类型肯定要比这里已经发现的类型更为复杂丰富。

系统状态发生改变，在系统科学中也称作“相变”，这是系统的质变。相变有平衡相变和非平衡相变之分。平衡相变形成的新结构是一种“死结构”。而非平衡相变形成的结构只能在开放系统条件下依靠物质和能量的耗散来维持其稳定性，即在演化发展中维持其稳定性，是一种“活结构”。系统自组织演化的相变当然也只能是非平衡相变。这也是平衡相变和非平衡相变的最大差别。从无

序到有序，从一种耗散结构到另一种耗散结构，从低级循环发展到高级循环，从一种有序态到另一种有序态，从一种混沌态到另一种混沌态，都是非平衡相变。尽管突变论是从研究平衡系统入手的，但由于平衡相变与非平衡相变有许多共同之处，所以其结论仍然具有一定的普遍意义。

突变论的创立者托姆曾认为，突变理论应用的两个极端是“物理学”和“玄学”，也就是硬科学应用和软科学应用。其特点是：在物理学这样的硬科学中，人们对于现象中的控制参量和状态参量已经十分清楚，就可根据变量的数目来选择突变的类型，运用已知的科学定律（力学及物理学的）就可以得出新的结果，这是在物理学中、工程学中的运用的途径。而在一些社会科学的运用中，人们对一些突变现象的变量个数是不清楚的，只能凭借对这些现象的感性认识，去选择认为与实际形态符合的突变形式，然后寻求导致这种突变形态的内在的动力学，从而找到控制参量、状态参量及其关系，这是软科学应用的途径。例如，对于社会中的突变现象，往往不知道有那些变量，也不能写出这些变量的方程组，这时就可以凭借观察或一些定性的表述的资料去寻找突变的特征，然后根据已知的突变特征去寻找并选取一种认为贴切的突变类型，最后按照这种突变类型中应有的各种变量的数目，通过分析来确定可能的状态变量和控制参量，从中得到有关系统动力学的启迪，深化对于引起系统突变因素的认识。在这里，就充分体现出突变理论的优越之处，而其他定量的方法是无法应用的。对于突变论发展作出很大贡献的桑德斯正是利用这样的方法讨论了诸如战争与和平、狗的攻击这样的软问题，并得出了颇有说服力的结论。他写道：突变理论“当应用于科学问题时，它直接处理不连续性而不联系任何特殊的内在机制。这就使它特别适用于内部作用尚属未知的系统的研究，

并适用于仅有的可信观察具有不连续的情况。”[①]

## 14.2 突变和稳定性，突变和渐变

通常人们在两层意义上谈论突变。一层是在系统的要素的层次上，另一层是在系统的层次上。生物学中所谓的基因突变就是在系统的要素的层次上来谈论突变的。超循环理论谈到大分子自组织的发生达尔文进化选择和进化的基础是代谢、自复制和突变，这里的突变也讲的是系统要素层次上的突变。由于系统的要素与系统整体是相互联系的两个方面。所以，要素的突变也可以从系统整体上加以理解。

对于系统要素的突变，如果从系统整体上看就可以被看作系统之中的涨落，这里不论是个别要素的结构功能发生了变异，还是仅仅是个别要素的运动状态显著不同于其他要素，都可以一律看作系统中要素对于系统稳定的总体平均状态的偏离。系统中要素的平衡是相对的，不平衡才是绝对的，系统中要素的突变总是时常发生的。突变成为系统中的发展过程中的非平衡性因素，是稳定之中的不稳定，同一之中出现的差异。当这样的差异得到系统中其他子系统即要素的响应时，使子系统之间的差异进一步扩大，便加大了系统内的非平衡性。而特别是当它得到整个系统的响应时，涨落放大，整体系统一起行动起来，系统发生质变，进入新的状态。这就是自组织理论的一个重要结论：通过涨落达到有序。这时就发生了系统整体的突变，发生了系统层次上的突变。相应地，在系统整体的层次上，突变指的是系统通过失稳从一种组织状态变成另一种组织状态，这实际上是系统的整体上的质变。突变论中的突变，一般指的就是系统层次上的即系统整体的突变。

---

① 桑德斯．凌复华译．突变理论入门．上海：上海科学技术文献出版社，1983年，1

系统的突变通过系统失稳而发生，因此突变是与系统的稳定性相关的。突变论注意了这个问题，注意到结构稳定性问题对于系统演化有基本的重要性。各种相变，平衡或非平衡的，有序的或混沌的，都是旧结构失稳和新结构形成并稳定下来的过程，都属于结构稳定性问题。这些结构演变的典型行为往往是突变式的。托姆的开创性著作《结构稳定性和形态发生》的宗旨，就是要用结构稳定性理论来解决形态发生这一最为诱人的系统演化问题。

在突变理论中，"结构不稳定性是以一种结构稳定的方式出现的"。[①] 突变理论并不局限于讨论间断与突变，而是把间断与连续、渐变与突变联系起来理论，突变模型中同时包含有对渐变的描述。例如，在尖顶突变中，只要控制参量变化轨道不与分叉曲线相交，系统就会连续地从上叶(下叶)变化到下叶(上叶)即从一种结构连续变为另一种结构无需经过突变。汽液临界点的情况也是如此。两种行为在同一个模型中出现，实际上就表明了突变与渐变的联系。

因此，系统的突变性原理，实际上是在突变与渐变的对立统一之中来把握突变的。

事实上，突变和渐变，谁是谁非，在科学史上就曾出现过激烈论战，这就是 19 世纪著名的地质学中的突变论与渐变论之争。渐变论的早期代表是英国地质学家赫顿，后来被英国地质学家赖尔加以发展，渐变论认为地球在历史上发生了变化，并造成了目前状态，原因在于地球上的各种自然因素，仅仅是渐进的缓慢的地质作用的结果。突变论的集大成者是居维叶，他把生物的演化和地壳运动联系起来，认为在地球的发展史上曾经发生过多次剧烈的大突变，并进而认为地球经过的多次大突变中，把物种多次毁灭，而造物主又多次把物种重新创造出来。这两种学说，在 19 世纪发生了

---

① 桑德斯．凌复华译，突变理论入门．上海：上海科学技术文献出版社，1983年，22

激烈的大论战，实际上争论的双方都是有片面性的，都只看到问题的一个方面。至于突变论把造物主请来，这就更是错误的了，恩格斯就曾经批判过居维叶的这种错误，恩格斯写道："居维叶关于地球经历多次革命的理论在词句上是革命的，而在实质上是反动的。它以一系列的重复的创造行动代替了单一的上帝的创造行动，使神迹成为自然界的根本的杠杆。"[①] 现代的地质学表明，地球系统的本身是渐变和突变两种变化的统一，地壳系统的变化也是渐变和突变两种变化的统一。单单强调其中的任何一个方面都是错误的。

特别是通过相变理论和突变论对于系统突变的深入研究，使得人们更深刻地认识了渐变和突变的相互联系。相变理论把相变划分为一类相变和二类相变，一类相变也称为普通相变或不连续相变，是物质系统的自由能连续但其对于温度的一阶微商不连续的物质状态突变；二类相变又称为连续相变，是物质系统的自由能等热力学函数及其对温度的第一阶微商都连续，而第二阶微商不连续的相变。以水的相变为例，通常大家熟悉的水的相变是一类相变，可以有两相共存的现象，即在未发生根本突变时，物质系统的一部分已经发生了相变。而在二类相变时，则相变点是真正的临界点，其相变过程在远离临界点时，气相就是气相，液相就是液相；接近临界点时，气液密度差极小，气液两相处于一种动态的过程中，成为一种似液非液、似气非气的动态过程；到达临界点时，两相密度差为零，过程完全进入似液非液、似气非气的状态，根本无法区别气液两相。但是两相的取代却不是逐渐实现的，而是突然地瞬间完成于相变的临界点上的。这里，一类相变的有序度的转变是采取间断方式、以跃迁方式完成的，发生的是物态的突变，但同时伴随着物性的渐变。二类相变的有序度的转变是采取连续方式、逐次发

① 恩格斯．自然辩证法．北京：人民出版社，1971年，10

生的，但在这个过程中有序度的转变速率却在加快，最后的物性的突变犹如雪崩一般。因此，相变过程之中既有突变也有渐变，突变和渐变毕竟是相互联系着的。

突变论对于系统相变的深入研究，也使我们加深了对于突变和渐变的相互区别。在实际情况中，突变是连续变化造成的，相变过程既有突变也有渐变。通常，人们往往把剧烈的、迅速的变化称为突变，即突变等于快速变化，而把速度缓慢的变化称之为渐变，即渐变等同于缓慢变化。这样一来，突变与渐变的区别就在于速度。但是通过突变论的研究发现，在相变过程中，中介态不稳定的相变对应于突变，反之则对应于渐变。因此，突变反映相变，相变是质变，并非所有相变都是突变，渐变也可导致相变，即渐变也可导致质变。质变、辩证转化是飞跃，飞跃刻划质变，但飞跃并不是时间的长短，也不是速度的快慢，而是渐进过程的中断。

## 14.3 突变，分叉和选择

突变对于系统发展变化的最重要贡献是使得系统的发展变化出现分叉。实际上，正如苏联数学家阿诺德指出的，突变理论的起源是与动力学系统的分叉理论相联系的。突变理论和分叉理论都描述了不连续的突变现象，但又有重要的区别。从思想观念上讲，最重要的区别在于，分叉理论强调的是临界点的多重性和选择性，突变理论强调的是临界点上变化的不连续性或突跳性。

分叉就着意味着获取新质的不确定性。而且这种不确定性并非认识不足造成的，而是客观系统自组织过程中的客观不确定行为。这首先在于系统内部的不确定性，其次还在于变化中的环境因素的不确定性。系统科学的自组织理论告诉我们，非平衡自组织系统对于某些涨落格外敏感，微小的随机涨落往往带来出乎预料的后果。最为复杂的自组织混沌系统，甚至就被直接定义为初值敏感性系统，即如果初始条件差之毫厘，则最终结局就可能失之千里。

这时，系统发生相变。在这里，量变引起质变这是不可避免的，一旦条件具备，量变可使得系统发生从无序到有序、从一种有序向更高级的有序转化或有序系统向无序系统的退化，这也是不可避免的。但是，从量变到质变，究竟怎样质变，究竟获得何种新质，究竟如何进入某种组织状态，是难以精确预见和把握的。当然，对于某一具体过程，分叉的选择往往是有倾向性的，而可供选择的方式也是有一定限度的，大数定律的多数决定原则也在一定程度上发挥着作用，因而已发生的量变对于质变途径和方式，并非完全没有影响。但是，这种影响决非是宿命论式的影响，已发生的量变对于并不唯一地预先规定好了质变的途径和方式。新质的多种可能性，只是在难分难解的决定性因素和随机性因素的相互作用中被选择的，从而转化为新的质的规定性。

突变的分叉和选择始于系统、环境或系统和环境发生了变化，因而也就是始于在保持系统的质的范围内发挥系统功能作用基础上的系统和环境的相互作用，始于量变。通过选择过程，系统进入了新的状态，也就是发生了质变。在选择过程中，系统越出旧质的稳定存在的范围，从以稳定性为主的状态进入非稳定性状态，量的变化剧烈地转化为质的变化，质的变化又制约着量的变化，量的变化和质的变化相互贯通、相互交换，度的制约和打破度的制约，在这个对立统一的时空中完成了选择，实现了质变，从一种状态突变到另一种状态。系统自组织进入新的组织结构状态，进入新质的稳定状态，新质稳定存在而开始起支配作用。这一过程表明，质的稳定存在是发展的基础，而发展总是意味着旧的稳定的打破，造成一定的失稳即非稳定性，从而向新质转化，质和量的相互交换和相互贯通是质变的必由之路。

突变分叉过程，也是系统的信息倍增和意义产生的过程。系统从一种稳定定态转变到另一种稳定定态，这样就使得系统认识了两个稳定定态，从而使得关于系统环境的知识通过突变得以澄清，

即系统的信息得以倍增了。系统的发展就是从某一稳定分支进入另外稳定分支的过程，所以都是信息倍增的过程。同时，这样的过程也就是系统在与环境之间的交换之中，从非特定的信息流之中捕捉有用的信息的过程，是选择过程，选择了有价值的信息，正是在这样的过程中，获得了新的意义，新的意义产生出来。

通过突变分叉，发展过程发生了对称破缺，一往直前的线性发展被打破了，系统有了多种发展方向。系统之间存在的不仅仅是竞争，而且也有合作的话，那么在系统之间的既竞争又合作的发展中，就有了发展的丰富多采。正如超循环理论的研究表明的，如果系统之间存在的只是竞争，发展的结果就犹如体育运动中的跳高比赛，每经过一轮比赛就淘汰一批运动员，最后只剩下一个优胜者，而这个优胜者也会在新的高度面前败下阵来，系统的演化最终是走向系统的彻底崩溃。线性的选择行为，意味着系统进一步的发展的途径基本上是预先确定好了，进一步的发展的自由度是十分有限的，即发展的不确定性是十分有限的。按照信息论，这个实验的不确定性 H 可以这样计算：

$$H = -\sum P(x_i)\log_2 P(x_i)$$

线性以及非线性选择的信息量的增长是非常有限的。反之，一旦系统之间有了合作，就带来了非线性的选择行为。对于非线性选择，情况大不一样。非线性对于初值的敏感性，使后果难以预料，也就是使得不确定性剧烈增加。

分叉使得系统的发展演化前途具有多种可能性。在最极端的情形，分叉既可是新的进化，成为系统向上发展的创造性的源泉，也可能是系统走向崩溃、系统走上退化的前途。这样的结论，不仅对于我们认识自然系统的演化具有重要意义，而且对于我们认识社会系统的发展变化也具有重要的意义，社会的发展也是要经历一个又一个的分叉的，具有不同的发展前景的。尽管我们坚信社会发展的整个前途是光明的，但我们也必须认识到社会的发展的确

也是存在可能的选择的。只要我们意识到超级大国武器库中的核武器可以将地球反复摧毁许多次，我们就不难理解选择的重要性。看看世界的共产主义运动遇到的种种艰难曲折，我们也不难理解社会发展中选择的重要性。无论是无机系统，还是社会系统，涨落一旦得以放大时，再要阻止系统的相变就为时已晚。不过，在社会系统中，有意识的人作为这个系统的一部分，是可能在社会系统的演化之中扮演某种积极的角色的，而非全然被动的、毫无反映地等待命运之神的安排。在社会系统中，有时人们是欢迎这样的发生彻底相变的大涨落的，并为这样的涨落放大推波助澜，譬如对于先进阶级推翻落后阶级的暴力革命就是这样。但是，对于要维护社会正常秩序的发展来说，情况就不一样了。这时，就特别要注意避免那些不希望的起破坏性的涨落突变，而要利用那些有利于社会正常发展的具有建设性的涨落突变。这对于我们现在的改革开放也是富有启迪意义的。

物体相对静止的可能性，暂时的平衡状态的可能性，是物质分化的根本条件，因而也是生命的根本条件。

恩格斯 《自然辩证法》

# 15 系统稳定性原理

系统的稳定性原理指的是，在外界作用下开放系统具有一定的自我稳定能力，能够在一定范围内自我调节，从而保持和恢复原来的有序状态、保持和恢复原有的结构和功能。

## 15.1 系统的稳定性

系统的存在就意味着系统有一定的稳定性；系统的发展变化也是在稳定基础上的发展变化。

我们所面对的世界形成一个大系统，这是具有一定稳定性的大系统。按照我们今天的知识，各种各样的基本粒子具有一定的稳定性；多种多样的原子具有一定的稳定性；形形色色的分子也具有一定的稳定性；丰富多采的地面实物同样具有一定的稳定性；生生不息的生命也是具有一定的稳定性的；满天繁星显然也有其自身的稳定性；……，总之，我们所面对的整个世界，大到总星系，小到基本粒子，都具有一定程度上的稳定性。一个全然变动不定的世界反而是不可想象的，如果世界真是变动不定、真是毫无稳定可言的话，那么世界就是无法认识的，实际上，在一个转瞬即逝的世界中，人也是无法存在的。从根本上讲，我们的世界不可能是全然静止不动的，恰恰相反它总是处于运动之中的，运动具有绝对性，而静止则是相对的，相对静止就体现了稳定性，绝对运动正是通过无数的运动之中的相对稳定存在表现出来的。系统之所以可以被称之为

系统,因为系统具有相对静止性,它在一定的范围内是稳定存在的。一个系统要作为系统而存在,要作为系统被人们所认识,就必须在一定范围内是稳定的。

稳定性概念在自然科学中是一个重要的基本概念,人们对它的认识有一个深入和发展的过程。拉格朗日在研究力学体系时曾提出这样一个观点:力学体系势能的最小的状态对应着体系的稳定态,而那些势能不是最小的状态就是相对的不稳定状态。的确如果仅从力学角度来看,当一个物体或者一个体系势能越小,其势能转化为动能的量值也就越小,也就是外界的作用驱使其离开这种状态到达其他状态需要作的功就越大,越不容易改变其状态,这就意味着该事物或者体系本身的稳定程度是较高的。而且,传统上,稳定性就等同于平衡态,不稳定性就等同于非平衡态。在系统稳定性概念提出之前,上述的稳定性概念已经得到了极大的推广,它已不仅仅是广泛应用于力学分析之中,广泛应用于数学中,而且已经进入了化学、生物学中。不过,这样的稳定性概念与系统的稳定性概念有着原则的区别。这种稳定性概念是一种平衡的、静止的稳定性,而不是非平衡的、发展的稳定性。传统上所理解的稳定性,就是前一种意义上的稳定性,而在现代系统科学之中所理解的稳定性,即我们所说的系统稳定性,是指的后一种意义上的稳定性,是系统在非平衡状态下保持自身有序性的稳定的能力。

系统的稳定性,首先是一种开放中的稳定性。开放是系统发展变化的前提,也是"活"系统得以保持系统稳定的前提。系统的开放性原理已经指出,开放——实际上是充分开放、适度开放,对于系统的发展是基本的前提条件之一,没有开放,就没有发展。对于系统的稳定存在也一样,没有开放,就没有稳定;只有开放,才有真正的稳定。系统的稳定态,是在开放与环境的交流之中实现的和保证的。对于封闭系统,甚至对于开放不充分的系统即近平衡系统,一般而言,它自发向无序运动产生出来的熵只能滞留于系统之中,无

法将其输出到环境之中，或说无法从环境之中引入可以使得系统向有序发展所需要的负熵，所以系统只能自动地向着系统组织性解体的方向运行；当系统走向了“死亡”，它就达到了其唯一的稳定态即平衡态。封闭系统的这种演化实质上是退化，没有发展可言，是自发走向无组织无秩序的热平衡混沌态。开放系统，通过把熵输给环境或把负熵引进系统，使无序的增长被抑制，使系统的有序得以保持，这正是开放系统的稳定性。

系统稳定性是开放之中的稳定性，同时也就意味着，系统的稳定性都是动态中的稳定性。在系统科学中，系统发展的所谓的稳定态，指的是稳定的定态。系统的静止不是在静止之中实现的，而是在运动之中实现的。“流水不腐，户枢不蠹”。实际上，任何开放系统的稳定性，也都是动态的稳定性，只有在动态之中才能保持稳定。耗散结构理论之所以把自己叫做耗散结构，就是强调系统的稳定性是在与环境的动态的交换之中才得以保持的，是一种动态的与环境交换之中的稳定性。通过交换，系统把熵产生输出给环境，或从环境之中引入负熵，从而保持系统之中的均衡，保持了自身的有序性和发展变化的活力。离开了与环境的交换，也就是把自己封闭起来，系统也就没有了发展的活力，就只有自发地走向活力逐渐消失，直至最后到达平衡态。对于封闭系统，由于它必定自发地向无序状态演化，所以实际上是没有稳定性可言的，如果说它也可以趋向某种稳定性的话，那就是以牺牲系统发展活力、进入热平衡态为代价的。

静止即稳定，平衡即稳定，这是一种机械论的观点，有其片面性。它是以牺牲系统自我运动和自我发展能力为代价的稳定性。而系统的稳定性是系统在发展演化之中的稳定性。一个动态系统，如果它是稳定的，那么它就是处于某个稳定定态。一个有稳定热源加热的热传导金属棒，它可以是各处温度不同的，具有一定的温度梯度，因而并非静止的，但是只要它的温度梯度是不变的，即棒上各

处的温度不发生变化，那么它就是处于一定的热力学定态，就是热力学上稳定的。但是，反过来，处于某个定态的系统，却不一定是稳定的系统。例如，成语中的“危如累卵”就形象地说明了这种处于定态但却不稳定的情况。一堆累卵，可以是处于某个定态的，但是，它却不是稳定的，只要稍被触动，就会整体倾覆崩溃。

## 15.2 稳定性、整体性与目的性

系统的稳定性与系统的整体性、目的性实际上是互相联系的。

事实上，在关于系统组织的认识过程中，对于整体性和稳定性的认识就是相互密切相关的。19 世纪末 20 世纪初，法国生理学家贝纳德就已经发现，一切生命组织都有一个奇妙的共性，这就是它们的内环境在外界环境发生改变时能够保持不变。他已经察觉到，这对于说明有机体的奇妙的整体性具有重大意义，在他看来，内环境的稳定性乃是自由和独立生命的条件。

到了 20 世纪 30 年代，稳态对于生命系统的重要性再次由美国生理学家坎农提出来，他惊奇地发现，像有机体这样的复杂的组织似乎是生活在一个令人惊奇的悖论之中，一方面，有机体作为整体存在，需要十分严酷的内部条件，一丝一毫偏离不得，一旦偏离就会导致有机体的死亡；另一方面，生命又总是存在于动态之中，生命系统内部和外部总是有形形色色干扰的，生命具有惊人的能力来克服条件的多样性和内环境要求的严格性之间的矛盾。他对此的结论是，任何生命组织都必须具有“稳态”这样一种基本性质。他将其称为“内稳态”，而将生命维持这种内稳态的机制则称之为“拮抗装置”。他认为也许正是这种拮抗装置的存在，才能使生命和系统组织能在各种各样内外干扰下长期存在。

随着系统理论的兴起，正是在系统理论中，系统稳定性、目的性问题得到了进一步研究。首先是控制论的创立过程中，维纳与坎农的助手罗森勃吕特合作迈出了新的一步，他们发现了“负反馈”

调节机制的重要作用。这就是，一个组织系统之所以具有受到干扰后能够迅速排除偏差，恢复到正常的稳定状态，其关键在于其中的负反馈机制。坎农曾把这种有机体独具的稳定性称之为“躯体的智慧”，而控制论现在指出，这种“躯体的智慧”不仅仅存在于躯体之中，而且也是一切具有信息负反馈机制的系统其中包括机械系统所共有的性质，它无非是这些系统中的普遍的负反馈调节的表现而已。

在把整体性、目的性与稳定性联系起来方面，对于控制论发展作出重要贡献的艾什比的研究具有重要意义。按照艾什比的研究，系统的整体性、目的性和稳定性，都与系统的负反馈能力有关，与在负反馈基础上的自我调节、自我稳定能力相联系。而且，正是系统的这样的内在的能力，使得系统具有了整体性、目的性和稳定性。艾什比根据这样的见解，设计了一台演示这种关系的稳态机。他的稳态机是极为初级的，但是，他认为，这里已经展示了智能设计的原理。他正是以此为基础，作出了大脑设计的著名预言。在艾什比看来，归根结底，相互作用毕竟是系统稳定性的根本原因，也是系统整体性的根本原因，还是系统目的性的根本原因。他的结论是根据具体分析作出的，但同时又是具有哲学的一般的意义的。

在种种动态系统理论中，也以不同的方式表述了系统的稳定性和系统的整体性、目的性之间的联系。按照耗散结构理论，系统从无序到有序发展，就是从一个稳定定态进入另一个稳定定态。超循环理论中证明，大分子自组织只有采取循环的循环的组织形式，才可能有真正的发展，才可能发展起既稳定又可以向更高复杂性生长的组织，这就是超循环组织。只有形成具有内稳能力的循环组织，系统才可能在进一步的发展中利用那些随机发生的突变即内部的不稳定因素，从而发展起更稳定的更高级的更复杂的循环组织。哈肯在高等协同学中，进一步发展了绝热消去原理，提出慢流形定理及中心流形定理，系统在相空间的轨道最终会稳定地运动

到慢流形上，或是稳定在中心流形上。这三个定理都反映了序参量支配子系统、子系统伺服于序参量、序参量协同合作形成有序的宏观结构，所以合起来称作协同学的役使原理。在混沌运动中，存在着奇怪吸引子，奇怪吸引子也是混沌系统的稳定中心，不过这是一类特殊的稳定中心，在混沌区以外的状态，都被吸引向吸引子中，而一旦达到吸引子之中，又要向吸引子以外的状态奔去；两个相距很远的点，会无限地靠近，而两个相距很近的点，又会无限地发散开来，成为是极为典型的动态稳定。突变论是研究系统的突变问题的，但是，它也是考虑以结构稳定方式出现结构不稳定性问题的。

系统的稳定性必须与系统的整体性相联系，与系统的开放性相联系，与系统的层次性相联系，与系统的目的性相联系，……，总之，是与系统的自发组织、自我运动相联系的。用耗散结构理论的话来说，通过系统的自组织过程，系统得以越过某个不稳定性，进入某个稳定的热力学分支，处于一定的稳定定态。处于一定稳定态的系统，又是通过系统的自组织，在向环境开放、与环境保持动态交换之中保持自己和稳定自己。所谓的动态稳定，其实质就是系统的自组织的稳定。开放系统若没有自组织，也是不可能保持发展之中的稳定的。事实上，系统要是没有自组织，该系统就会崩溃，就没有这一系统可言了，整体性、目的性和稳定性都谈不上了。

系统的稳定性原理，关心的是系统整体的稳定性，它不仅关心某一层次上的稳定性，还要关心多个层次耦合起来以后的稳定性。我们往往可以看到这样的情况，就系统的多个层次而言例如两个层次，似乎每一个层次本来应该是稳定的，但事实上整个系统却是不稳定的，其原因在于整体系统的性质并非是由一个个子系统的性质单独决定的，也不是一个个子系统性质的简单加和，而是由一个个子系统相互联系、相互作用形成了整体作用所决定的，由两个不同层次形成的系统整体不稳定，这说明这两个层次的耦合并非是有机的、互相协调的耦合。我们知道，要素优化不等于系统优化，

部分优化不等于整体优化，这对于系统整体的稳定性，也是适用的。系统的整体的稳定性，不是指系统中个别要素、个别部分、个别层次的稳定性，而是正如整体一词所指示的，指的是系统整体的稳定性。以局部的稳定性来代替全局的稳定性，以点代面，实际上是以机械论的、线性相加的观点来看待系统的。

## 15.3 稳定、失稳和发展

系统的稳定性原理，并不仅仅就稳定性来谈稳定性，而是在稳定与失稳的矛盾之中来把握稳定性的。

一般而言，在工程技术上，人们特别钟爱系统的稳定性，总是把系统中的稳定性——无论是动态的稳定性还是静态的稳定性——作为积极的东西来对待，而把系统中的不稳定因素作为消极的东西来对待。这对于工程技术，无疑是极为重要的。但是，我们却不能将工程上追求相对静止的态度无条件地推广为最一般的观点。一般而言，工程系统是一种被组织起来的系统，而不是一种自组织系统。

自组织系统，总是处于演化之中的，无论它是物理化学系统，还是生物系统以至社会系统。所谓的系统的稳定性，决非绝对意义上的稳定性，任何时候、任何条件下，系统之中总是存在涨落的，就已经表明系统的稳定性总是不完全的，总是在稳定之中存在着不稳定的。事实上，很多时候，即使系统在整体上是稳定的，系统之中也可能存在局部的不稳定性。而且，正是因为系统中存在不稳定的因素，这种最初是个别的、局部的不稳定的因素，在一定条件下得以放大，超出了系统在原先条件下保持自身稳定的条件，系统保持自身稳定的能力遭到破坏，才得以使得系统整体上失稳，从而进入新的稳定态。由此看来，系统中的不稳定因素，反而成为系统演化发展的积极因素。当然，只要不超出系统保持自身稳定的条件，系统保持自身稳定的能力仍然在发挥作用，该系统就能整体上保持

稳定，使得系统能够稳定存在。

从反馈角度看，系统的稳定性与负反馈相联系，而不稳定则与正反馈相联系，系统中实际上是正负反馈共存于系统之中的。没有仅仅存在负反馈的系统，也没有仅仅存在正反馈的系统。如果系统之中仅仅存在负反馈，仅仅强调系统的稳定，任何对于系统的偏离都实际上是不容许的，这样的系统就是没有发展能力的，因而是无法发展的。相反的情形，如果系统中仅仅存在正反馈，无异于说系统根本就没有稳定性可言，系统的任何稳定倾向都会遭到破坏，只会处于变动不居之中，这样的系统同样也是不可能有真正的发展的。

恩格斯说得好："物体相对静止的可能性，暂时的平衡状态的可能性，是物质分化的根本条件，因而也是生命的根本条件。"[①] 贝塔朗菲也说：生命有机体开放系统具有在动态之中保持稳定，"是生命有机体的根本奥秘所在"。[②] 他们都看到了发展和稳定的相互依存性。

没有脱离稳定的发展，也没有脱离发展的稳定，系统的稳定和发展具有同一性，这也是系统稳定性原理的一条基本内容。

系统之所以是稳定的，就在于系统内部存在着某种内稳定的机制，按照系统理论，如上面已经指出的，这种内稳定机制即是某种系统内部的负反馈机制。通过负反馈机制，系统得以消灭偏离系统稳定状态的失稳因素，使得系统可以稳定存在。超循环理论中的循环，实际上也是这种负反馈，正如贝塔朗菲引用弗兰克所说的："反馈、伺服、机构、循环系统和循环过程，都可以看成是完全相同

① 恩格斯．自然辩证法．北京：人民出版社，1971 年，224

② 贝塔朗菲．林康义、魏宏森等译．一般系统论．北京：清华大学出版社，1987 年，148

的基本概念的不同而等价的表述。”[1] 在超循环意义上的循环组织之所以是稳定的，因为循环组织就是由负反馈联系起来的组织。作为动态的稳定组织，低级的反应循环组织，已经是自维生或自再生的；高一级的催化循环，具有了自复制能力；超循环，就具备了进行选择的能力。这样的稳定组织，是一种动态的稳定组织，即是一种自组织的稳定性。事实上，超循环理论的创始人艾根在研究大分子自组织时，就研究了多种催化网络即反馈网络，结果表明：“对一些催化网络的研究结果表明，超循环组织是保持信息稳定性，并促使其继续进化的一个必要条件。”[2] 超循环组织具有“一旦建立起来，就永存下去”的性质，从而对于系统中不可避免的随机突变进行选择，有利者加以利用，不利者则予以淘汰，使得系统可以稳定地向更高组织、更大复杂性生长。这里也就是表明了，只有在具有稳定组织基础上，才能把随机的东西转变为确定性的东西，使得确定性生长在随机的突变之中表现出来，向更高级组织即会聚成为高一级循环的发展才是可能的。没有稳定，就没有发展，现在已是自然科学的结论。

所谓的系统的稳定性，正是系统在非平衡状态下保持自身的有序性这样一个特征。因此，在系统的稳定性原理看来，对于系统稳定性的真正把握还应该是在发展与稳定的对立统一之中来加以把握。我们所处的世界，从整体上看发展变化有其绝对性，整体上总是处于发展变化之中的。正如现代宇宙学所表明的，整个观测宇宙有其从无到有的历史，处在发展演化之中，“宇宙之砖”——种种粒子也是有生有灭、生生灭灭的，万物皆流，无物常驻，一切都将被时间席卷而去。其中某一种具体的存在形式都是有其相对性的，所

---

[1] 贝塔朗菲．林康义、魏宏森等译．一般系统论．北京：清华大学出版社，1987年，15

[2] 艾根、舒斯特尔著．曾国屏、沈小峰译．超循环论．北京：上海译文出版社，1990年，61

谓的系统的稳定性，也就是在这种相对性意义上的稳定性，并非绝对的稳定性。但是，发展变化的绝对性，也并非是转瞬即逝，并非是不可捉摸的绝对性，而是寓于无数相对稳定之中的绝对性，是依赖于无数相对稳定而存在，在无数相对稳定之中得以表现的发展变化。

发展变化以稳定存在作为自己的基础，稳定存在以发展变化作为自己的前提。自然系统是这样，社会系统也是这样。正确地认识和掌握系统稳定性原理，不仅具有自然科学的意义，而且具有社会科学的意义。一个社会系统，想要得到正常的发展，就必须处理好稳定与发展的关系。这对于我们今日改革开放的中国，更是具有极为现实的意义。能否正确处理好改革和开放、发展和稳定的关系，直接影响我们社会主义事业的兴旺发达。这已经是我们的改革开放中的一条宝贵的实践经验，这里还在系统科学的理论中得到了理论性支持。一味地为稳定而稳定，事业就无法发展；而不顾稳定，一味强调发展，最后也只会制约发展、破坏发展。在稳定之中求发展，在发展之中求稳定，这才是系统稳定性原理所追求的稳定性，也是系统稳定性原理给予我们的启示。

这个事物(或现象)的发展、它自身的运动、它自身的生命。

列宁 《辩证法的要素》

# 16 系统自组织原理

系统的自组织原理指的是,开放系统在系统内外两方面因素的复杂非线性相互作用下,内部要素的某些偏离系统稳定状态的涨落可能得以放大,从而在系统中产生更大范围的更强烈的长程相关,自发组织起来,使系统从无序到有序,从低级有序到高级有序。

## 16.1 系统的自组织

现实的系统,都处在自我运动、自发形成组织结构、自发演化之中。

物质世界是一个系统世界,这个世界究竟是自我运动、自我发展的,还是神创的、由某种外力推动的。古往今来,人们对此作出了种种不同的答案。古代中国的贤哲老子说:"道生一,一生二,二生三,三生万物";庄子说:"人法地,地法天,天法道,道法自然"。他们都把整个宇宙——上下左右、古往今来看作一种自发的自我组织过程,代表着古代东方思维的特色。而在西方思维中,尽管古希腊最早的哲学家们,都不言而喻地把世界看成在永恒的演化之中、自组织发展之中,"米利都学派的学者们从来也没有想到去探索这个物质宇宙永不停息的变化原因或根源,反而假定这是一种自明的事实(当然之事),正如他们认为万变与生成是自明之理一样。……在他们那里,宇宙物质被认为是某种自身活着的东西,他们认

为它生气勃勃，正如特殊的有机体一样。”① 但到了古希腊最负盛名的柏拉图、亚里士多德那里，现实世界就是由外来力量推动和组织起来的。柏拉图的追求理念世界，亚里士多德寻求“第一推动”，从此就在西方传统思维中占据主导地位。

近代科学是从西方兴起的，哥白尼把光明移到了太阳这个宇宙中心，但同时也保留了完满的圆形天层和宇宙边缘的原动天。伽利略避免涉及运动原因，奠定了存在物理学的基础。但对于原因的追问终究是无法完全避开的，这就有了牛顿最终不得不把神请来作为第一推动。他对此的回答是：“行星现有的运动不能单单出之于某一自然原因，而是由一个全智的主宰在推动。”② 这就导致了由外来力量推动的被组织的宇宙观，无论如何，世界从根本上是被组织起来的，而不是自我运动、自发的组织起来的。康德—拉普拉斯星云假说最先在这个僵化的形而上学自然观上打开缺口，把整体宇宙描述为一个由混沌到有序的发展过程。达尔文的生物进化论又使人们认识到，地面上的生物界也有其历史，人并非上帝捏造的，而是自然界长期演化的产物。因此，生命既非上帝的恩赐，亦非从来就有的，而同样是自然界自组织发展的产物。天体在演化之中，生命有其发展的历史，一切都是进化的产物，这真是揭开了进化科学序幕的世纪。也正是在这样的自然科学的新成果的基础上，推动了人类宇宙观认识领域的一场根本性的变革，恩格斯的《自然辩证法》从哲学高度论述了一个自我运动、自发组织的宇宙观。科学发展有其自身的步伐，只是到了20世纪，随着现代宇宙学的兴起，基本粒子处于生灭之中的发现，一系列系统理论特别是系统演化理论的诞生，科学就不仅令人信服地表明，整个宇宙系统，从总星系到基本粒子，一切系统都处于演化之中。

---

① 文德尔班．罗达仁译．哲学史教程．北京：商务印书馆，1989年，50

② 塞耶编．牛顿自然哲学著作选．上海：上海人民出版社，1974年，36

一系列系统理论，对于认识系统的自组织有着特别重要的意义。按照历史顺序，首先出现的主要是以既成系统为研究对象的一般系统论、控制论和信息论。对于控制论研究作出重要贡献的艾什比最先于20世纪50年代提出了自组织系统这个名称。20世纪60年代—70年代兴起的耗散结构理论、协同学、超循环理论、突变论、混沌学和分形学则是以系统的发生、发展为重点，探讨了系统的自组织演化问题。正如我们在“4 现代系统思想的兴起”一章已经指出的，一系列关于动态系统的理论——系统的自组织理论，逐步地深化了我们关于系统自组织的认识。

从总体上看，耗散结构对于理解系统演化的前提条件有基本的重要性。协同学阐述了子系统之间的竞争和协同推动系统从无序到有序的演化，总体上推动了我们对于系统自组织演化内部机制和动力的认识。超循环论指出相互作用构成循环，提出了循环等级学说，从低级循环到高级循环，不同的循环层次与一定的发展水平相联系，揭示了系统的自组织演化发展采取了循环发展形式。突变论与系统自组织演化的相变理论密切联系在一起，揭示原因连续的作用有可能导致结果的突然变化，揭示出相变的方式和途径、相变的多样性。对混沌和分形的研究，使得我们对于系统自组织的复杂性、系统自组织的发展的整个过程有了更深刻的理解。于是这些系统自组织理论使我们认识到，充分开放是系统自组织演化的前提条件，非线性相互作用是自组织系统演化的内在动力，涨落成为系统自组织演化的原初诱因，循环是系统自组织演化的组织形式，相变和分叉体现了系统自组织演化方式的多样性，混沌和分形揭示了从简单到复杂的系统自组织演化的图景①。

---

① 沈小峰、吴彤、曾国屏．北京师范大学学报(社会科学版)．1993年3期

## 16.2 组织、自组织和他组织

自组织是与他组织相对而言的，讨论自组织与他组织还有必要首先涉及到组织这一概念。

组织这一概念，通常可以作为名词来使用，也可以作为动词来使用。在作为名词来使用时，指的是系统内部的相互联系及其表现。也就意味着，如果说，系统内的相互作用是系统组织的内容方面，那么，系统的组织的形式方面就体现为系统的结构形式和系统内要素之间的联系方式。由此看来，系统的组织，就是一个与系统的结构非常近似的一个概念，其区别主要在于，当人们使用组织概念时，除了包括系统的结构以外，往往还包括系统作为一种客观实体的含义，而使用结构概念时，一般并不包含这后一层含义。比如说，我们可以说精神的结构，以表明精神的结构，但一般并不说精神的组织，即意味着并不把精神看作一种客观实体。而在组织作为一个动词来使用时，实际上就是"组织起来"、"形成结构"这样的意思。

自组织和他组织概念，往往就是在组织一词作为动词使用的意义上的复合词。自组织表示系统的运动是自发地、不受特定外来干预地进行的，其自发运动是以系统内部的矛盾为根据、以系统的环境为条件的系统内部以及系统与环境的交叉作用的结果。这里值得注意的是，首先，只有开放系统才有自组织，所谓的系统的自组织并非是可以离开与环境的相互作用的独来独往。正如系统的开放性原理已经指出的，封闭的系统是不可能自发组织起来、自发实现从混沌到有序的发展的。其次，系统的自组织常常与系统的自发运动这样的表述相联系，其区别也是很明显的，系统的自组织包含系统的自发运动的意思，同时还强调了这种系统的自发运动过程也是一个自发形成一定组织结构的过程。换言之，系统的自组织其中也常常包括了系统的进化和优化这样的意思。

我们面对的自然界，是一个自发运动的世界，也是一个自组织的世界，我们的社会也是一个自组织的社会，甚至连人的精神的运动过程实际上也是遵从自组织规律的。

人类社会的形成过程，是一个自组织过程。猿群社会的形成是自发形成的，而人的社会只能合理地被看作对于猿的社会的扬弃。古猿的一支，在环境变化尤其是在冰河时期那种突然而至的严峻生活环境下，猿群为了生存，被迫下地生活，改变获取生存资料的方式，被迫借助天然器械如树枝、石块，以群体的力量来抗击凶猛野兽的侵袭，并获取食物。从而从松散的群体发展成为更为紧密合作的群体，提高了获取生存资料的能力。在这种过程中，当从本能地运用工具，进一步发展到最初是偶然地、最后成为有意识地制造工具时，真正意义上的劳动也就产生了。以制造工具为起点和标志的劳动主体能够在自然界打上自己的烙印，随着劳动的产生和发展，猿也就逐渐完成了向人的转变。从猿向人的转变中产生了劳动，劳动推动了猿向人的转变。人的社会，也就在这个过程中自发地组织起来。

社会的发展运动，从根本上来说，也是一个自组织的演化发展过程。马克思深刻地指出："人们在自己生活的社会生产中发生一定的、必然的、不以他们的意志为转移的关系，即同他们的物质生产力的一定的阶段相适合的生产关系。这些生产关系的总和构成社会的经济结构，即有法律的和政治的上层建筑竖立其上并有一定的社会意识形式与之相适应的现实基础。"[①] 推动社会前进的，归根结底是人们在自己的生活中自发组织起来的物质生产劳动，而不是个人意识，甚至也不是社会意识。人们首先必须吃、喝，然后才能从事政治、科学、艺术、宗教等等活动，并在自己的活动中体现出社会发展在本质上是自组织的。英雄，作为社会中涨落的代表，

---

① 马克思恩格斯选集第二卷．北京：人民出版社，1972年，82

对于社会的自组织具有重要的影响,但涨落得以放大,得以真正变成推动社会前进的现实的力量,则是由社会的整体的自组织运动所决定的。

深入到具体的社会系统中,各种具体的社会系统也是自组织的。埃伦等人的研究表明,一座城市就是一个不断演化的自组织系统,是一种耗散结构,它不断从外界输入物质、能量和信息(原材料、能源、通讯等等),又不断输出产品和废物等等。他们运用系统自组织的观点定量地讨论了美国城市人口分布的空间结构,在建立模型的基础上进行的计算机模拟计算表明,他们的成果基本上反映了美国各州之间人口发展的机制,得到有关政府部门的重视。韦德里希和哈格运用系统自组织的观点探讨了战略投资的非平衡理论,并用定量的模型考察了联邦德国从1955年到1980年经济发展的情况,他们的结果表明是与联邦德国经济发展的实际情况相吻合的。这样的研究还很多,例如,关于城市演化与工业发展问题、渔业捕捞问题、交通问题、能源问题、社会舆论问题、商业网点问题、战争与和平问题等多方面的问题的研究。这些研究与实际的吻合,反过来又进一步证明了社会系统的自组织本质。

总之,从一种组织状态自发地变成为另一组织状态,是系统的自组织。钱学森说:"系统自己走向有序结构就可以称为系统自组织"。[①] 系统的自组织,作为一种客观的、普遍的现象,体现在世间万事万物都处在自发运动、自发地组织起来,自发地形成结构的过程之中。所谓的系统的他组织,也称为系统的被组织,与系统的自组织恰恰相反,表示的是系统的运动和形成组织结构是在外来特定的干预下进行的,主要是受外界指令的结果,在极端的情况下,就完全是按外界指令进行运动、进行组织的。例如,创世说就是一种极端的他组织,即认为世间万事万物都是由上帝组织起来的。

---

① 钱学森等著. 论系统工程. 长沙:湖南科学技术出版社,1982年,242

当然，系统的自组织和他组织也是相对的，系统的自组织原理实际上是在自组织与他组织的对立统一之中来把握系统的自组织的。对于一个自组织系统，这个系统是自组织的，就是说这个系统整体上是由若干个序参量制约的，这同时就意味着作为这个系统的部分的子系统在运动、组织总是受到特定的制约的，不可能有完全自由的自发运动和自我组织，毋宁说是他组织的。由于系统的层次性，这里已经表现了自组织的相对性。对于一个其内部层次之间的联系非常紧密的自组织系统而言，情况就更是如此了，系统的整体性很强，系统整体就会强烈地制约系统中低层次子系统的行动自由。这就意味着，对于该系统之中的低层组织而言，这些低层组织受到了作为更高层次的系统整体的干预，显得是受系统高层次的特定指令而组织起来的。这里也存在系统自组织的相对性。大千世界是一个错综复杂地结合起来的系统整体，在这个大系统中的所有系统都在相互联系、相互作用之中，绝对自由自在的系统实际上是不存在的，系统的自组织，总是在与其他系统的相互作用之中实现的，也总是在不同程度上受到作为其环境的其他系统的制约的，推动系统自组织的力量——一只无形的手，正是在这种系统与环境、系统与系统的互相牵制之中形成的。因此，对于一个具体的系统，对于其自组织，也不能作绝对的理解，决不能理解为自以为是。

## 16.3 自组织，进化和优化

系统的自组织就是系统进化的过程。但是，一般说系统的进化时主要是指明系统发展的趋势，而说系统的自组织时则要进一步指出系统进化的机制。

对于系统自组织进化的机制，系统的开放，随机涨落的放大，竞争和协同的相互作用具有决定性重要意义。没有开放，就谈不上系统的发展，系统开放性原理已经比较详细地讨论过这一问题。系

统自组织的发生，总体上来说是系统与环境相互作用的结果，可以从系统的环境变化的角度来加以考察，也可以从系统内部的发展变化来加以考察。前一个方面以控制参量的变化来说明系统的自组织，后一个方面可以用系统状态参量的变化来说明系统的自组织。从系统内部要素的变化方面来看，系统的要素变化引起系统的自组织，也可以区分出下列几种情况：要素的质变引起自组织；要素数目的变化引起自组织；要素运动量的变化引起自组织；要素排列次序的变化引起自组织。[①]

对于涨落来说，最一般地，涨落就是系统同一之中的差异。具体一些说来，从系统的存在状态看，涨落是对系统稳定的平均状态的偏离；从系统的演化方面来看，这种偏离是发展过程中的非平衡因素。任何一个系统都不可能处于绝对同一的平衡状态，系统之中的要素不可能绝对无差别，系统的环境不可能是绝对平静的。例如，真空这样的场的能量基态，也不可能处于绝对的平静之中，其中也有量子起伏。即使是被看作系统演化走向"死亡"的平衡态，其中也存在着热噪声，也就是涨落。总之，只要是有大量子系统或要素构成的宏观系统，其中的子系统或要素就不可能没有差异，子系统或要素的运动就不可能没有差异，就必定存在涨落。因此，涨落并非是人们对于系统中子系统或要素运动的无知，而是系统内在的随机性质。因此，系统的合乎规律的运动也就只能是确定论与随机论统一之中的合乎规律的运动。

传统思维把系统中的涨落仅仅看作某种不利于系统稳定存在的因素，系统的自组织理论中，涨落则被赋予了新的意义，而并非全然消极的东西。通过涨落达到有序，这是系统自组织理论的一个重要的基本结论。首先，涨落是使系统"认识"进化阶段中更有序状

---

① 邹珊刚、黄麟雏、李继宗等编著．系统科学．上海：上海人民出版社，1987年，181—184

态的诱因，没有涨落促使系统偏离原来的状态，系统仅仅停留在原来的状态，就不可能发现可能的“山外青山楼外楼”。通过涨落，首先是个别子系统超越常规，认识到其他的新的状态，认识山外青山楼外楼，而后当新的发现得到其他子系统的响应并在整个系统内得以放大时，系统就被诱导进入新的或更有序的状态。其次，随机涨落驱动了系统中的子系统在取得物质、能量和信息方面的非平衡过程，使得系统中出现了差距，而且加大这种差距，特别是在临界区域附近的涨落由于非线性相互作用得以放大时，又进一步加剧了这种过程，使得慢变量与快变量区分开来，慢变量形成序参量，并成为系统自组织的支配力量。由此可见，涨落的确本来是不稳定因素，但在一定条件下也可以变为建设性因素，诱发系统的自组织过程。

系统的自组织真正得以实现，其内在根据则在于系统内部的复杂的相互作用，这是非线性相互作用。我们的世界本质上是一个非线性的世界，非线性相互作用是这个世界的基本现象。相互作用就是矛盾双方的排斥和吸引、竞争和协同。在线性作用下，各种相互作用之间缺乏关联，不可能产生合作作用，同时也就谈不上竞争作用，系统实际上就不是一个有机的整体。但在非线性相互作用下，各种相互作用之间密不可分，相互之间有了竞争，同时也就有了合作，你中有我，我中有你，成为了有机的整体系统，互相联系、互相牵制，牵一发而动全身，表现出强烈的整体行为。作为个别的涨落才可能得以被放大为整体的行为，从而引起系统的自组织，使系统的合乎规律的运动通过随机性表现出来。

系统的自组织进化，本质上体现的是系统的合目的的发展。钱学森就曾指出，协同学的贡献之一是表明了系统自组织与系统目的性相联系。他说：“哈肯的贡献在于具体地解释上述相空间的‘目的点’或‘目的环’是怎么出现的。他的理论阐明，所谓目的，就是在给定的环境中，系统只有在目的点或目的环上才是稳定的，离开了

就不稳定，系统自己要拖到点或环上才能罢休。这也就是系统的自组织。"[1]

天然系统的自组织演化优化是系统与环境的相互作用中通过自然选择实现的，人工系统的优化则是人们在对于自然系统优化演化机制认识的基础上对于系统组织、结构的设计，包括进行动态的设计，使得被人工组织起来的系统也具有一定的自组织功能。这要求人们在系统的存在和系统的演化的对立统一之中来把握系统的组织、自组织和他组织，就要把从系统论、控制论、信息论到耗散结构理论、协同学、超循环理论、突变论、混沌学和分形论这一系列系统理论综合起来，形成一种整体的系统观，用以指导我们的工作。

研究系统的自组织，揭示出系统自组织的各种机制，为更深地理解各种自组织现象的机制，从而利用这样的机制，设计出能自我组织、自我适应、自我修复的高级自动系统提供依据。由此可见，系统的自组织原理，不仅对于自然科学的研究具有重要的意义，而且对于工程技术的研究，也具有重要意义。

最后我们还要特别指出，深入认识系统自组织机制，对社会的认识也有重要意义。这里首先是对我们在社会主义新时期的改革开放和建设发展，具有现实的理论指导意义。当前我国建立社会主义的市场经济，从系统的自组织原理来看，就是要改变由政府来组织市场的经济运行机制，使之变成市场的自我运动、自发组织，从而实现资源的优化配置和充分利用。从系统自组织的角度看，对于市场经济、市场的自组织，也不能作绝对意义上的理解，并非意味着某种绝对意义上的东西，因为系统的自组织具有相对性，自组织实际一方面是在自组织与他组织的矛盾的对立统一之中的自组织，另一方面所谓自组织运动也是有一定规律的运动，这在市场上

① 钱学森等著．论系统工程．长沙：湖南科学技术出版社，1982年，242

就表现为政府的宏观调控作用。不过，这与计划经济有着原则性的区别，这就是，一方面，计划经济的调控原则是直接的、预定的、事无巨细的干预，而市场经济的调控原则则是间接的、方向性的、宏观式的干预；另一方面，计划经济往往对规律作确定论的片面的理解，而市场经济则承认规律是确定性与随机性的统一。我们可以运用系统的自组织原理，结合社会系统工程，促进我国社会主义市场经济系统的优化。这就是我们讨论这一原理的现实意义。

我的目的就在于把各个科学领域中进行的努力联合起来，使它们都致力于相似问题的划一的解决。

维纳　转自："N·维纳在我们的杂志编辑部"

# 17　系统相似性原理

系统的相似性原理指的是，系统具有同构和同态的性质，体现在系统的结构和功能、存在方式和演化过程具有共同性，这是一种有差异的共性，是系统统一性的一种表现。

## 17.1　系统的相似性

系统的相似性是系统的一个基本特征。

系统具有某种相似性，是种种系统理论得以建立的基础。如果没有系统的相似性，就没有具有普遍性的系统理论。正因为如此，各种系统理论都注意了系统的相似性问题。事实上，一种系统理论，可以说就是关于系统某一或某些相似方面进行研究的学科。系统的相似性原理，也就以这种种系统理论对于系统的相似性的研究作为自己的立论基础。

一般系统论、控制论和信息论都赋予相似性问题以重要的地位。引起一般系统论思考的出发点是："纵观现代科学的发展，我们遇到一个出人意外的现象：在差异极大的一些领域里，都独自存在着相似的问题和现象。""现代科学的各种不同的学科，已逐渐形成相似的一般概念和一般观点。"[1] 正是对于系统相似性问题的思

---

① 贝塔朗菲著．林康义、魏宏森译．一般系统论．北京：清华大学出版社，1987年，28，34

考，才有了一般系统论这一学科。控制论的创立者维纳则写道："我用'控制论'这个词来标识这一个问题领域是出自一个简单的原因，我在今天的生物科学和工程科学进行研究的那些过程中，找到了许多相似的东西，因而力图使用这样的词汇，把不同的东西的相似性表示和指明出来。……我的目的就在于把各个科学领域中进行的努力联合起来，使它们都致力于相似问题的划一的解决。"[1]仙农发现了通讯系统的相似性，对于这种相似性的研究，得以建立起有五个基本组成部分的关于通讯系统的一般模型，从而建立起了信息论。

种种关于系统演化的理论，也都离不开系统的相似性。耗散结构理论发现了开放系统的共性，揭示出开放系统在与环境交换时的发展变化的前提条件的共同的、相似的方面，从而开创了研究动态系统的新局面，唤起了对于系统存在和演化关系的新认识。协同学，正如其名称表明的，它所研究的问题，涉及到系统通过竞争达到协同的统一性中的相似性，子系统伺服着序参量，序参量支配着系统的发展演化，揭示出系统秩序形成机制中的相似性。超循环理论的建立与对于生命现象的统一性和多样性关系的思考相联系，并正是在这样的思考之中发现了系统的循环组织的相似性。相互作用表现为循环，循环具有不同等级的层次，揭示了系统发展演化形式的相似性，并提出了对于生命起源的新理解。突变理论运用于系统的相变研究，揭示出系统相变时多样性及其相似性，使我们对于系统相变之中的突变形式的相似性有了更深刻的更多方面的认识。

关于动态系统理论，这里还要特别涉及到混沌理论和分形理论。混沌理论的研究表明，混沌系统中存在无穷嵌套结构即具有分形结构，其结构具有无穷的自相似性。所谓的混沌美，正是体现在

---

[1] 控制论哲学问题译文集第1辑．北京：商务印书馆，1965年，26—27

这样的分形结构之中，因而也就与相似性相联系。分形学正是研究这种分形结构的，尽管分形学实际上并非从混沌理论中分化出来的，而是独立地发展起来的。所谓的分形体即分形系统，就是其系统整体以某种方式与系统的要素具有相似性的系统。这样的相似性是分形系统的内禀性质，与观测系统的视角无关。所以，这就被称为"自相似性"。分形研究表明，弯曲的海岸、延绵的山脉、夜空的闪电、纷飞的雪花，乃至植物构造、人体中的肺部结构、心脏血管分布以及胚胎发育、生理过程，都表现出一定的分形结构。从系统的相似性原理看来，分形的普遍性正是标志着系统的相似性的普遍性。

系统具有相似性，最根本原因在于世界的物质统一性，种种系统理论的研究所蕴涵的总的思想即系统观进一步揭示出，这是一种具有多方面的多样性的统一性。对于系统，系统的相似性体现着系统的统一性，一定的相似性就体现着一定的统一性。如果不仅仅将相似理解为实体，而且也将其理解为关系，那么，在一定的意义上统一性也就是相似性。没有统一性也就没有了相似性，没有统一性的相似性是不可想象的；同样的，一定的相似性也就体现了一定的统一性，没有相似性的统一性也是不可想象的。没有相似性的统一性或没有统一性的相似性，都决非现实的东西。系统具有系统性，系统性既是一种统一性，也是一种相似性。系统整体性，同样也既是一种统一性，也是一种相似性。系统的层次性也是如此，既体现系统的统一性，也体现系统的相似性。……这里的系统，实际上不仅仅是指客观物质系统，甚至也是包括精神思维系统；思维运动如果是没有相似性的，具有普遍性的思维规律也就不复存在了，人们具有共同的认识也就成为了一句空话。

## 17.2 存在和演化，相似和差异

系统的相似性原理指出，系统的相似性，不仅仅是指系统存在

方式的相似性，也指系统演化方式的相似性。

系统结构的相似性，几何的、相对静止的相似性，体现的是系统存在方式上的相似性。而系统的过程的相似性，运动节律的、显著变动之中的相似性，体现的就是系统演化的相似性。一般说来，系统的存在方式的相似性更为直观，更容易为人们所理解，而系统演化的相似性则似乎显得不那么直观。其实，系统演化的相似性，早就成为科学研究的对象了，海克尔对于生物发生重演律的发现，就是一个在演化意义上的关于系统相似性的重要发现。在分形理论的研究中发现胚胎发育、生理过程具有分形结构，这也是一种演化意义上的系统的相似性。分形学的研究还表明，虽然一个分形的动力学过程不存在特征标度尺度，但是具有被称作 1/f 现象或 1/f 噪声的负幂律谱。自然现象中，从太阳黑斑的密度到气温的季节性变化，物理现象中电阻的电流、电视机无图象时发出的噪声，再有语言学中的齐夫(Zipf)法则、古典音乐以及现代音乐、不同阶层人员的收入情况、股票行情的起伏变动……，在这种种相去甚远的领域之中，都普遍存在这样的 1/f 现象。作为现象之后的内禀动力学性质，这里表现了实质上是演化意义上的自相似。

系统演化全过程——大圆圈，也体现从混沌到有序，再从有序到混沌的相似性。

传统上，混沌常被当做浑然一体、无规无序、混乱不堪的同义语。古代民族的创世神话中，作为宇宙之初的混沌就是这种混沌。近代自然科学所看待的混沌，也是这种混沌。19 世纪中叶以后，热力学讨论的热力学平衡态实际上就是一种传统意义上的混沌。随着自组织理论对混沌现象研究的深入，揭示了自然界中还存在另一种混沌，即非平衡混沌。混沌现象所蕴涵的无穷内部结构、自相似性，分数维和普适性等特性告诉我们，非平衡混沌决不是传统意义上的混沌，非平衡混沌是人们迄今认识的复杂性之冠，它决非简单的混乱无序，而毋宁称作“混沌序”。系统自组织理论指出，混沌

状态是非平衡非线性系统自组织演化的一种归宿。这是有序复归到混沌。于是，从(平衡)混沌到有序，再从有序到混沌(非平衡)，这样一种演化的相似性展示出来，这是自组织演化系统的实在过程。正如系统自组织理论的经典例子贝洛索夫-扎鲍廷斯基反应中，当处在平衡态时，系统为均匀无序态，随着不断远离平衡态，将依次出现正弦波振荡(耗散结构)，复杂周期态，进入混沌，然后是周期和混沌的混合式振荡，以后又出现张弛振荡，显示了从混沌到有序，再到混沌，再到有序。从杂光到激光，是从混沌到有序，协同学的创立者哈肯进一步预言，激光之后还有紊光。[1]

系统演化的每一相对完整的阶段——小圆圈，从一种有序到另一种有序的发展，也表现出相似性。系统发展的本质是对立统一，自组织理论把它称为非线性相互作用，非线性相互作用体现为排斥和吸引、竞争和协同。按照自组织理论，在一个自组织系统中，当协同的因素成为竞争和协同双方的主导因素时，系统便处于稳定态，产生出相对稳定的有序组织。但是，这并不意味着矛盾的消失，也不意味着矛盾的一方吃掉另一方、协同吃掉竞争，竞争仍然在发挥作用。在正常状态下，稳定系统中存在着许许多多的涨落，涨落是不稳定因素，得到子系统的响应时，便得到了放大，竞争的因素便突出起来。于是，系统失去了稳定性进入否定系统状态的相变阶段。经过相变，协同的因素重新确立，便对于失稳再一次否定，进入稳定态，产生出有序结构。稳定——失稳——再稳定的发展演化，一种稳定态的失稳，是对这一稳定态的否定，从失稳再到稳定，又是对失稳的否定，从而又回到了系统稳定存在的起点。当然，这不是简单的重复相似，而是更高一级的相似、发展了的有差异的相似。系统，不论这个系统是物理的、化学的、抑或是生命的乃至社会

---

[1] 哈肯．戴鸣钟译．协同学——自然成功的奥秘．上海：上海科学普及出版社，1988年，57

文化的，其演化过程的稳定——失稳——再稳定的重复性，说明了自组织演化的小圆圈——从一种有序到另一种有序也是具有相似性的。

系统的相似性原理认为，系统的相似也是相对的，系统的相似性实际上是在相似和差异的对立统一之中的相似性。

进一步说，系统的自相似原理实际上是从存在与演化的对立统一之中来把握系统的相似性的。由于系统的时间和空间、存在和演化本质上是相互依存和相互转化的，因而系统的存在和演化的相似性，存在形式的相似性和演化形式的相似性，实际上也是相互联系和相互转化的。在实践中，人们是按研究的实际需要来侧重从某一方面看问题的。系统相对静止时，空间特征就突出起来，这时从存在角度研究系统的相似性比较方便。系统的运动突出时，演化表象就显著起来，这时就特别适合从演化角度研究系统的相似性。但是，演化和存在本质上是相互联系、相互制约的，它们统一于系统的运动之中。我们可以这样来考虑，系统发生自组织处于明显变动状态时，演化因素显得突出，一旦经过激烈的变动过程之后，就可进入相对稳定的存在表象突出的状态(这里不讨论处于明显的动态平衡即既可有明显的存在结构也可有明显的演化情况，但不影响问题的本质)，因此存在只不过是演化的凝聚状态的表象，反过来说，演化只不过是存在的变动状态的表象。

相似不是等同，绝对的相似即等同是不存在的。莱布尼茨说，世界上没有两片树叶是完全相同的，这就是说差异才是绝对的，相似只是存在着一定差异的相似，是在所论方面的差异居于次要地位时的系统之间的同一性。就相似和差异本身的意义来说，相似只有对于差异来说才有相似，离开了差异，相似也就没有了。差异只有对于相似来说才有差异，离开了相似，差异也就不存在了。这正如黑和白是相对的、互相定义的一样。黑格尔在《小逻辑》中，已经把相似与不相似作为一对对立统一的范畴来加以讨论，他指出：

"我们要求的，是要能看出异中之同和同中之异。"[①] 紧接着，他还批判了：当时在经验科学领域内对于这两个范畴，时常是注意其一便忘记其他，或者把同一仅仅看作是绝对的单纯的同一。他认为，前者使得科学的兴趣总是这一次仅仅在当前的差别中去追溯同一，另一次则又以同样的方式去寻求新的差别；后者则是脱离了差别的单纯知性的同一，是虚妄不实的。

以分形为例，现实系统，既有整形，又有分形，既有标度性，又有非标度性。在分形特性占有支配地位时，人们发现的是典型的无标度特性，系统的自相似结构十分突出。而在整形处于显著地位时，人们看到的是典型的标度特性，系统显然表现出非自相似的、有差异的结构。然而，实际上的情况是，自相似性与有差异性、标度性与无标度性，其存在是相对的、有条件的。自然系统的分形在大小两端都存在一定的特征尺度的限制，表明无标度性是以存在标度限制为前提的。一切自然系统的分形都是不完全的分形；奇怪吸引子很少有严格意义上的自相似性，在洛仑兹吸引子的犹如蝴蝶翅膀的两片上，若取一小部分放大，自相似性只表现为原来当做一片曲面块的那部分，放大后看是由多层曲面构成的；数学分形也有两重性，自相似中包含着差异性，如统计分形只具有统计意义上的自相似性，承认有小概率的差异性，而且这种小概率的差异性有时具有不可轻视的重要性。[②]

系统理论追求系统的一般性，相似性也体现着这种一般性，用贝塔朗菲的话来说，要发现种种系统之中的同型性。显然，系统的一般性是不可以代替系统的特殊性的，假如系统的一般性可以代替系统的特殊性的话，那么对于一个普通的物理化学系统的研究，譬如对于一个三分子系统的研究，也就相当于对于一个人的大脑

① 黑格尔．贺麟译．小逻辑．北京：商务印书馆，1981 年，253

② 苗东升．分形研究的哲学思考．自然辩证法研究，1993 年 9 卷 8 期

进行研究了，也就等同于对于人的大脑的研究了。可见，不区别一般与个别，以一般来代替个别，把个别完全等同于一般，既犯了代替论的错误，也实际上就取消了科学。对于同一类的系统，它们之所以划分为同一类，表明它们具有某种相似性。相似性表现了这类系统的某种一般性。但是，一般总是寓于众多特殊之中的一般，而任何特殊总是比一般更丰富，总是具有超出一般之处即一般无法包括之处，否则它就不是特殊了。例如，我们涉及两个完全一样的化学钟的耗散结构体系，实际上，无论人们怎样精心涉及、精心称量，首先就无法保证两个体系的分子数绝对一致。再说，两个化学钟的振荡模式，也决不可能是绝对意义上的一致。因此，所谓完全一样，也要作辩证的理解。

## 17.3 相似程度，功能模拟

系统的相似性涉及到相似程度的大小，也就是有一个系统的相似度问题。

系统的相似度，实际上是与差异之中的同一相联系的。有的系统之间，相似的程度比较大，即差异较小，而有的系统之间，相似的程度比较小，即差异较大。一般而言，同一类系统之间，系统的相似程度就要大一些；譬如，同一类有机体之间，相似性就比较大，相似的方面就比较多。而不同类的系统之间，往往相似程度就要小一些；譬如说，无机系统与有机系统之间，相似性往往在许多方面都是很可怜的，以至就被看作是没有相似性的。但是，由于系统之间的差异是绝对的，而相似是有条件的，所以在具体讨论相似性时必须注意系统相似的条件，否则就又会犯与看不到相似性是有差异性的相似时那样的错误。两个人，一般而言，相似性应该是很多很多的，但可能就某一具体方面而言，两个人的差别可能是很大的，可以是就其脾气而言俩人是截然相反的，就更不用说就俩人的道德品质可以是其中之一具有高尚情操而另一人则是衣冠禽兽。人

和机器，一般而言，可算得上是天渊之别的，但就其某一方面来说，也可以是具有共性的，具有相似性的，正如我们知道，控制论就是在发现人的行为与机器的行为的相似性基础上才得以创立的，作为控制论诞生标志的维纳的《控制论》一书，其副标题"或关于在动物和机器中控制和通讯的科学"如实表明了这一点。

系统的相似性原理指出，系统的相似性，并非只是指系统实体意义上的相似性，也可以指的是关系系统意义上的相似性。这就是说相似性并非仅仅是实体意义上的范畴，而且也是关系意义上的范畴。因此，相似性可以不仅仅是几何结构意义上的可见的相似性，也可以是功能无形的意义上的非实体的相似性。系统规律的相似性、思维活动的相似性和关系的相似性等，都是后一种意义上的相似性。

事实上，规律本身就是异中之同，就是普遍联系中的有某种共性的稳定的联系，就是关系，而非实体；系统的开放可以导致系统的发展、系统普遍地具有层次性，如此等等，既是系统的规律性的东西，也是系统具有的相似性，这里显然也是关系意义上的相似性。科学是要追求规律的，是要去发现普遍相似性的，如果不去追求规律，不去发现普遍的相似性，科学也就不复存在了。

思维活动的相似性，也是非实体意义上的精神系统的相似性。文学艺术的主导思维方式之所以不同于科学的主导思维方式，据认为前者主要是运用形象思维，后者则主要是运用逻辑思维，而形象思维，按照思维学的倡导者钱学森的看法，其重要基础之一就是相似的观点，或曰"相似论"。对于思维活动的相似性的研究，对于揭示思维这个至今仍然十分神秘的精神活动，可能是十分关键的。

一种新型的模拟方法——功能模拟法，正是以这种非实体意义上的功能相似性作为基础的模拟。传统的模拟方法可分为两种情况，一是以模型与原型之间的物理相似或几何相似为基础的物理模拟，二是以模型与原型之间在数学上相似为基础的数学模拟。

它们今天仍然在科学研究中得到广泛运用。而系统理论中，实际上最先是在控制论中，提出了一种新的模拟方法，这就是功能模拟方法。功能模拟以系统的功能和行为的相似为基础，可用黑箱理论从功能上描述和模仿系统对于环境的反应方式，无需追求模型的结构与原型相同。它不把模型仅仅作为认识原型的手段，其本身就是具有目的性行为的机器、是研究的主要目的。在功能相似基础上的功能模拟，在当代科学技术领域中具有极为重要的意义，从人工智能、仿真技术到计算机实验等，往往都离不开基于功能相似基础上的功能模拟。

系统的相似性原理在科学研究中具有重要的实践意义，在前面的讨论之中已经相当清楚了。实际上，系统的相似性原理，在社会实践中同样也具有十分重要的现实意义。解剖麻雀，抓点带面，搞好经验的移植和推广，是社会工作中常常采用的方法，也是我们党一贯倡导的理论联系实际、从群众中来并到群众中去优良工作作风的体现。从系统相似性原理来看，这样的社会工作中行之有效的宝贵经验，其客观依据就在于社会系统中具有相似性。改革开放，引入外国的先进的科学技术和管理经验，乃至引进西方国家市场经济的先进经验来为我们的社会主义的市场经济服务之所以是可能的，也是可行的，也就在于尽管两种不同社会体系有其本质上的区别，但是却也具有作为社会经济系统的相似性和共性方面。正如前面已经讨论过的一样，这是一种有差异的相似性和共性，有时甚至是有极大差异的相似性和共性。总之，相似是有差异的相似，相似性决非等同性，相似性的相似程度并不齐一，这是在探讨和运用系统的相似性时必须加以注意的。

# 第四篇　系统论的基本规律

系统论的基本规律是关于系统存在基本状态和演化发展趋势的必然的、稳定的普遍联系和关系，是比系统论原理具有更大普遍性的一种对于系统的一般性的把握。

我们把系统论的基本规律概括为 5 个，这就是：结构功能相关律、信息反馈律、竞争协同律、涨落有序律、优化演化律。

---

系统科学辩证法实是我所说的从系统科学到马克思主义哲学的桥梁……系统论的一部分。我看其中的重要问题是结构与功能，还原论与整体论等辩证关系。

钱学森　转自：《系统思想与科学技术发展战略研究》

## 18　结构功能相关律

结构和功能是系统普遍存在的两种既相互区别又相互联系的基本属性，揭示结构与功能相互关联和相互转化就是结构功能相关律。

当代科学前沿的探索，离不开对于物质结构及其功能的探索。在人类认识史上，物质的化学结构是最先被认识得比较清楚的领

域，在19世纪已经形成了比较完整的化学结构理论和概念。20世纪以来，人类对于物质结构的认识有了很大的进步，许多重大成果都是研究物质结构和功能取得的，结构概念也逐步深入到各个学科领域，包括数学、物理学、生物学、心理学、语言学、社会学、经济学、管理学等学科领域，以致在哲学上也出现了结构主义哲学流派。在实践中，工程技术领域以及生产领域、流通领域，结构和功能同样是一个重要的概念。系统科学的建立和发展，极大地深化了人们对于系统的结构和功能的规律性关系的认识，使得结构和功能成为了十分基本的科学概念，结构功能相关律成为系统科学中的一条基本规律。钱学森就指出，作为系统科学与哲学的桥梁的系统论，结构和功能的辩证关系就是其中的重要问题之一。[①]

## 18.1 结构

结构是指系统内部各个组成要素之间的相对稳定的联系方式、组织秩序及其时空关系的内在表现形式。按照这里的定义，系统的结构就取决于系统之中的要素、由这些要素联系形成的关系及其表现形式的综合，并由这样的综合导致了系统的一种整体性规定。

系统的结构反映系统中要素之间的联系方式、组织秩序及其时空表现形式。因此，结构反映系统的内部关系，是系统的一种内在的规定性。系统是由要素有机联系组成的整体，要素的有机联系就成为系统结构的基础。任何系统，总是具有一定的结构的，无结构的系统是不存在的。如果说一个系统是没有结构的，无异于说一个系统是没有内在联系和规定性。正如没有要素之间的相互作用的系统是无法想象的，没有结构的系统也是无法想象的。从宇宙总

① 钱学森同志给会议的贺信．见：汪应洛、黄麟雏主编．系统思想与科学技术发展战略研究．西安：西安交通大学出版社，1985年

星系到分子、原子、基本粒子，都有其一定的结构，社会系统、文化系统乃至精神系统，也都有其一定的结构。

作为系统的内在联系和规定性，系统的结构与系统的质的规定性是密切相联系的范畴。系统的结构不同，系统的质的规定性就不同，系统就有质的区别。当仅仅把系统的结构理解为系统的要素的时间、空间或时空分布形式时，就会把系统的结构仅仅理解为系统的一种量的规定性。实际上，现代意义上的结构概念，并非仅仅是空间排列和分布，更为重要的是强调了系统之中的要素之间的关系即其间的相互联系、相互作用，从而突破了仅仅把结构划入量的规定的范围。于是，结构就有了质的规定性的意义，如果系统的结构发生了改变，那么系统也就会发生质变。在这个意义上，我们甚至可以说，系统的结构事实上就是与系统的质的规定性属于同一范畴。

结构反映系统中要素之间的相对稳定的联系方式、组织秩序及其时空表现形式，即系统的结构具有相对稳定性。这种相对稳定性并不意味着系统的结构是静止的、僵死不变的东西、仅仅是一种平衡结构，恰恰相反，这种稳定性是在系统各个要素的运动变化之中表现出来的动态稳定性、是变化发展之中体现出来的不变性。现实的系统都处于变化发展之中，变化发展具有绝对性，所谓的稳定性只是变化发展之中的稳定性，是相对的。现实的系统都是非平衡的开放系统，总是处于演化之中，可以发生系统的自组织。

系统的结构作为系统的一种内在的规定性，反映了系统中各个要素相互联系、相互制约，正是这种相互联系、相互制约使得系统具有了整体行为，成为系统具有整体性的原因。在这个意义上，系统之所以具有整体性，就在于系统是通过内部结构联系起来的。

系统中众多要素的分布并不均匀，它们所处的地位并不平等，它们之间的相互作用也并不齐一，有的联系是本质的联系而有的联系是非本质的联系，这使得系统的结构的整体性和统一性是具

有多样性内部关系的整体性和统一性，系统结构具有不同的类型和层次，具有关键结构部分和非关键结构部分，具有实质性结构部分和非实质性结构部分。例如，有机分子中的各种各样的官能团，它们就具有相对独立的化学性质，在化学反应中就能够相对独立于有机分子整体而发挥作用。因此，系统的结构作为系统的要素及其关系的综合，是多样性的综合，是整体性和非整体性的辩证统一。

## 18.2 功能

功能是指系统与外部环境相互联系和相互作用中多表现出来的性质、能力和功效，是系统内部相对稳定的联系方式、组织秩序及时空形式的外在表现形式。系统的功能是与系统的结构相对应的范畴。

我们讲功能是系统内部的相对稳定的联系方式、组织秩序及其时空形式的外在表现形式，是从关系的角度来作出划分的，以此来表明系统结构的内在性以及系统的关系的外在性。我们所讨论的功能，就是从系统之间关系的角度来讨论的功能。

作为表现于系统的功能，必须是与环境相联系的。这就是说，一个系统，只有对于环境、对于其他系统，开放，才有功能可言。没有内部的联系，就不会形成系统的结构；而没有外部的联系，就谈不上系统的功能。严格意义上的封闭系统，对于外界来说实质上就是“无”，毋宁说是没有环境可言的，因而是没有功能可言的。不过，严格意义上的封闭系统只是一种理论上的抽象，并非是现实的系统。现实的系统都是开放系统，因而保证了现实的系统都是具有一定功能的系统。系统开放程度和开放方式的多种多样，系统环境的千差万别，使得系统的外在的规定性在反映系统的内在规定性时，有了多种多样的可能性，即系统的功能表现具有了多种多样的可能性。

系统的功能与环境相联系，意味着功能的发挥具有“瞬时性”，即功能与环境的状态及其变化有关，环境一旦发生了变化，系统的功能就可能随着发生变化。一般地，与系统的结构具有相对稳定性比较而言，系统的功能则是灵活易变的。我们说某种物体具有多种用途，就是说该系统可以具有多种功能，可以在不同的条件下表现出不同的功能，这也体现了功能的易变性和灵活性。

一个系统，往往具有多种功能。一定的环境下，一个系统可以表现出多种功能；环境不同，同一个系统可以表现出不同的功能。人就是一个多功能的复合体，人具有多种多样的生物学功能，能进行新陈代谢、生长繁殖，还具有多种社会功能，人和人之间可以结成一定的社会关系组织起来进行劳动生产，形成一定的社会文化。

功能作为表现于外的系统的外在规定性，体现了一个系统对于另一个系统的意义、一个系统对于另一个系统的价值。一个封闭系统与外界全然无关，它对于其他系统不可能发生任何作用，也就是没有意义、没有价值的。意义和价值必然是与系统的开放相联系的。对于人的认识和实践来说，人们认识和研究系统，其直接目的是为了了解和认识系统的功能，进而利用、改造和获取系统的功能。一个系统，如果缺乏人们所希望的功能，实际上对于人的实践，就是没有价值、没有意义的。

## 18.3 结构和功能相互联系、相互制约

任何一个现实的系统，总是具有一定的内部结构的，因此总是具有一定的外部功能的。既然没有结构的系统是不可想象的，所以没有功能的系统也是不可想象的。由上面的讨论，我们已经认识到，系统的结构和系统的功能，实际是系统中要素之间相互联系、相互作用所形成的系统的整体性关系问题的两个方面。一定的结构具有一定的功能，功能不能脱离结构而存在。系统的结构总是与系统的功能相联系的，我们也只有把两者联系起来，才能深入认识

两者的关系。

系统的结构是系统的功能的基础，系统的功能依赖于系统的结构。化学中，同分异构体的组成相同，但组分之间的键合方式不同因而性质截然不同，它表明的正是系统的结构不同则系统的功能也不同，即系统的功能总是依赖于系统的结构的。同素异性体亦是如此，金钢石与石墨的组成完全一样，但是其内部结构不同，因此性质相差甚远。一般而言，机械系统的结构，决定了该系统具有机械性能。有机系统的结构，成为该系统具有有机功能的基础。大脑是人的思维的物质基础，就是说人的思维能力是人的大脑这样的复杂巨系统的组织结构整体所具有的机能，我们不可能设想简单的系统也具有这样的功能。社会经济系统的结构，则制约着该系统的社会经济功能。而且社会文化系统也具有一定的结构，社会文化对于生活于其中的人们的心理、习俗、传统和生活方式的制约和塑造，也就体现着社会文化的功能作用。

因为系统的结构是系统功能的基础，所以只有系统的结构合理，系统的功能才能具有良好的功能，系统的功能才能得到好的发挥。系统的结构优化和功能优化总是密切联系在一起的。有一个非常著名的历史故事，我国战国时期，齐王和他的大将田忌赛马，就一对一而言，田忌的马是不如齐王的马，如果马的对阵是以上等对上等、中等对中等，下等对下等，田忌必败、齐王必胜，而田忌采取了军事家孙膑的策略，“今以君之下驷为彼上驷。”从而得以相对结构优化，田忌取得了赛马的胜利。他之所以能取得胜利，实际上也就是通过结构优化获得了功能优化。

综上所述，系统的结构对于系统的功能具有决定性的意义，一定的系统结构就具有一定的系统功能。换言之，系统的结构相同，则系统的功能也就相同。这就是系统的同构同功能。当然亦存在异构同功能。

## 18.4 结构和功能相对区别、相互分离

简言之，对于系统结构埋藏于内、功能表现于外，它们是系统的两种有区别的规定性，结构侧重于从系统实体、系统要素之间的关系看问题，功能着眼于从系统的特性、系统具有的能力看问题。它们的着眼点不同，因而必定是相对区别的。

我们知道，在不同的条件下同一个系统可以表现出不同的功能，即同种结构可以具有多种功能，可以表现出不同的功能。化学中有所谓的"两性物质"，在化学反应中究竟是表现出酸性还是碱性，要视它所作用的对象而定。常言道"虎落平川遭犬欺"，也表达了这种意思，老虎是"丛林之王"，离开了丛林就失去了它的威风。高层建筑对于拥挤的城市可以是非常合适的，可以有良好的经济和生态效应，但是如果将其修建在乡村就不一定合适了，可能是既无经济效应也无良好的生态效应的。在一定的时期，一定的条件下，集中的计划经济可以对于一个国家的发展起到积极的有效的作用，能起到有效地配置资源的作用，但这样的经济模式并不在任何时期、任何条件下都是积极有效的，当条件改变了的时候，这样的经济模式就可能对于经济的持续发展成为制约的以至阻碍的作用，难以实现资源的合理利用。

另一种情况是，不同结构的系统可以具有相同的功能。我们可以将其称为"异构同功"，这也是一种普遍现象。机械表与电子表，其内部结构相差甚远，但都同样可以作为计时工具，在一定的范围内都具有良好的记时功能。电子管和晶体管，都有整流或放大电信号的能力。社会系统中的管理往往没有固定的、统一的模式，也就是不同的管理结构也可能取得同样良好的管理效果。一个工程可以有多种设计，实际上也是通过不同的施工方案、不同的工厂布局或不同的生产方式来获取同样的工程效果。当然，我们注意到，这种结构不同而功能相同也是有条件的，而非无条件的，我们不可能

寄望无条件的"异构同功"，不能保证不同的结构在任何条件下都有相同的功能。

结构和功能的相对独立性，使得人们可能分别对于结构或功能进行研究。结构研究和功能研究，可以称为对于系统研究的两个互补的方面。长期以来科学技术研究中的模型方法，实际上仅仅是从结构角度来研究和运用模型的，模型反映原型也就仅仅是从模型与原型的结构相似的角度来谈相似的。系统科学的一个重要贡献，是发现了可以从系统的功能相似的角度来研究和运用模型，即可以从模型的功能与原型相似的角度建立模型，这就是功能模拟方法。功能模拟方法可以把被研究的系统视为黑箱，不问其中的结构如何而通过一组或多组输入和输出的比较来追求模型与原型有相同的功能，从而为模型方法开辟了新的研究和应用领域，使得一些长期以来困扰研究人员的问题取得了突破性进展。例如，图林从行为角度对于思维的定义，极大地推动了对于思维问题的研究，他实际上就是运用了功能模拟原则来作出定义的。

## 18.5 结构和功能相互作用、相互转化

系统的结构与系统的功能之间的影响实际上是双向的，即一方面系统的结构对于系统的功能具有决定性作用，另一方面系统的功能可以反作用于系统的结构，仅仅看到其中的一个方面则是片面的。

结构和功能的相互作用和相互转化问题，实际上很早就提出来了。在化学发展史上，较早认识到物质的结构和功能的关系，在19世纪中叶建立起化学结构学说时，就已经明确提出，通过物质性质可以了解物质结构；而且结构决定性质，知道了结构又可以预测性质。

生物对于环境的适应实际上也是结构和功能的动态相互作用过程。在进化论发展史上，拉马克最先提出了关于生物进化的学

说。按照拉马克的观点，“用进废退”，长颈鹿的脖子长是因为长期伸长脖子吃树叶的结果，即结构的变化完全是功能变化的结果。而在达尔文看来，环境引起生物的变化是逐步积累的，生物体内的“泛生子”可以时时随着内外环境的变化而发生变异，即功能的变化实际上就随时归结为结构上的变化。从现代系统的观点看，拉马克和达尔文的学说都有合理之处，但同时也都有不足之处，应该把两个方面结合起来，才能更全面地理解生物系统的进化。事实上，诸如寄生虫长期以寄生为生，以致某些功能器官特别发达，而某些功能器官严重退化；运动员经过长期的训练，心肌变得强健、肌肉变得发达，这些都是生物的适应，也都体现了结构和功能相互作用、功能反作用于结构。

生命体系中，生物大分子核酸和蛋白质的关系也是一个结构和功能的关系。核酸被称为结构大分子，蛋白质被称为功能大分子，蛋白质高度有序的功能由核酸编码，核酸的复杂和翻译又是由蛋白质催化和表达。这里的结构和功能、原因和结果的相互依赖、相互作用和相互转化，被艾根称为超循环组织，并由此建立起来系统自组织的超循环理论。因此，超循环实质上也可以说就是一种高级的功能和结构的非平衡非线性相互依赖、相互作用和相互转化。

值得注意的是，不能把系统的结构与系统的功能的相对区别绝对化。正如功能模拟法所揭示的，我们对于系统的认识不能仅仅停留在利用黑箱方法阶段，而需要进一步揭示系统的内部结构，使得认识对象成为我们认识的灰箱，以致成为白箱，即弄清系统的内部结构。当然，黑箱方法也是可以有助于弄清系统内部结构的，并非因为它是以功能模拟为基础的就是与系统的结构绝对无关的。在实践中，人们可以利用黑箱方法尝试部分揭示系统的结构，使之转化为认识的灰箱，为进一步揭示该系统的结构创造了条件。事实上，只有进一步弄清系统的结构，才可能更深入地认识系统的功能，以及系统的结构和功能的关系。从而得以制备相应的结构，获

取相应的功能。早期电子计算机的研制，以图林理论为基础，以冯·诺意曼计算机结构为样本，是一种对于人的思维功能的形式化的模拟，尽管已经取得了极大的成功，但进一步的发展也遇到了极大的困难，这就促使人们进一步去研究大脑神经元的结构，以求制备出人工神经元，更好地模拟人的思维，更好地体现人的思维的特征，从而把人工智能的研究推向一个崭新的发展阶段。

## 18.6 结构、功能及其关系的复杂性

系统的结构对于系统的功能具有决定性作用，而且系统的功能又可以反作用于系统的结构。而且，尽管一定的系统结构就具有一定的功能，但功能的实际表现则是与具体的环境条件相关的，环境条件的不同，系统可以表现出不同的功能，这就有了同样的结构可以表现出不同的功能，不同的结构也可以表现出同样的功能。使得系统的结构与系统的功能之间的关系并非是简单的一一对应的线性关系，而是错综复杂的非线性的关系。

从结构和功能的表现形式上看，结构深藏于内，功能表现于外。同时，从系统的过程来看，系统的结构具有相对稳定性，而系统的功能则是易于变化的。结构和功能实际上是对立统一的，系统的结构及其功能的矛盾的不断产生又不断解决，由此推动着系统的不断发展。系统的结构制约着系统的功能，功能在适应不断变化的环境的同时又反作用于系统的结构，促进系统结构的改变，改变了的结构可以具有更佳的功能，使得功能得到更好的发挥。而且随着环境的改变又要求打破已经建立起的均衡，要求系统的功能跟着发展改变，这又会引起系统结构发生相应的变化。系统的结构和功能在过程之中统一起来，系统就在其结构与功能的互相适应又不完全互相适应的矛盾作用和转化之中得到发展。

进一步置于系统的演化过程来考察系统的结构和功能的动态关系时，情况会变得更加复杂。事实上，系统的结构和系统的功

能的决定作用和反作用之间，还涉及到一个必然性和偶然性关系问题，是必然因素和偶然因素交织在一起的过程，耗散结构理论的研究揭示出，一个演化系统，其结构、功能和涨落之间的关系可以示意为图 18-6-1。这里，结构、功能和涨落是相互作用的，结构和功能之间的关系具有决定性，而涨落则把随机性因素带入其中。三者之间互相作用，一定的结构必然具有一定的功能，并制约着随机涨落的范围，而随机涨落总是可以引起局部功能改变的，当涨落突破了系统内部调节机制的作用范围，涨落得到整体系统的响应即得以放大时，就会引起整体结构的改变，所形成的新的结构又规定了新的涨落的范围，建立起新的对于结构稳定性的调节机制。必然性和偶然性、原因和结果、稳定和失稳，就这样与结构变化和功能发挥密切地联系在一起。

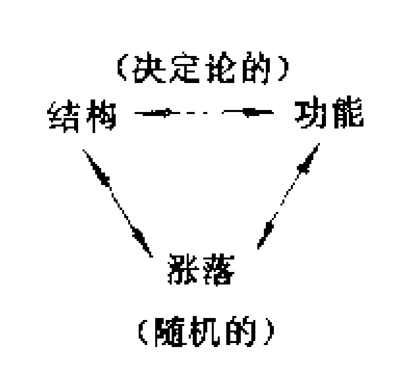


图 18-6-1 结构、功能和涨落的关系

当代科学前沿的探索，离不开对于物质结构及其功能的探索。在人们的认识史上，人们的认识和实践离不开对于认识对象的结构和功能的探索，这是一个由表及里的过程，因而也就是一个由功能到结构的过程。人类对于物质的认识，最先是通过物质的性质来对于物质进行分类，进而深入到利用物质的组成来推断物质的性质，再进一步才发展到建立起物质的结构与属性之间具有对应关系的观念，并深入认识到物质结构、物质系统结构与功能之间的对应关系。

信息这个名称的内容就是我们对外界进行调节并使我们的调节为外界所了解时而与外界交换来的东西。接受信息和使用信息的过程就是我们对外界环境中的种种偶然性进行调节并在该环境中有效地生活着的过程。

维纳 《人有人的用处》

# 19 信息反馈律

信息反馈在系统中是一种普遍的现象，通过信息反馈机制的调控作用，使得系统的稳定性得以加强，或系统被推向远离稳定性。据此，我们把揭示信息反馈调控影响系统稳定性的内在机制概括为信息反馈律。

信息和反馈，是系统理论中十分基本的概念。人们很早就已经开始利用信息进行通讯，利用反馈进行调节。"一鼓作气"、"鸣金收兵"，古代战争中利用鼓声和锣声来传达统帅的军令，调节军队的行动。随着近代工业的发展，19 世纪出现了电通讯技术，电报、电话相继出现并得到了大发展；机器运动中的反馈现象也受到更大的重视，并从理论上开始得到研究；生物学中，生理学家已经注意到动物躯体中的体液的调节控制作用，认为这是保持躯体稳定性的条件。但是，它们真正成为基本科学概念则是 20 世纪上半叶的事，特别是随着 20 世纪 40 年代系统科学的兴起、信息论和控制论成为学科建立起来才成为重要的基本科学概念的。随着信息论、控制论理论和实践的迅速发展，人类社会走向信息时代、自动化时代，人们对于信息和反馈以及两者之间的内在联系的认识大大地深化了，其重要意义越来越显示出来。

## 19.1 信息

在日常生活中，信息是指具有新内容、新知识的消息(如书信、情报、指令)。信息概念出自拉丁文 informatio，原意是解释、陈述、说明。我国古典例如《易经》《彖传》中，多次用到"消息"一词。据新版《辞源》考证，我国唐代诗人李中在《暮春怀故人》这首诗中，写下了"梦断美人沉信息，目穿长路倚楼台"的诗句。这是现在已知"信息"一词最早的文字记载。

20 世纪以来通讯事业的急剧发展，促进了人们加紧对于通讯理论的研究。20 世纪 20 年代，美国哈特莱在探讨信息传输问题时，提出了信息和消息概念的差异。美国贝尔电话公司的仙农于 1948 年在《贝尔系统技术杂志》发表了"通讯的数学理论"，奠定了现代信息论的基础。仙农提出了一个信息量公式，并认为："量 $H = -\sum p_i \log p_i$（常数 K 仅等于度量单位的选择)在信息论中起着重要的作用，它作为信息、选择和不确定性的度量。H 的公式与统计力学中的所谓熵的公式是一样的。"[①] 他把信息量看作不确定性的度量，把信息看作不定性减少的量，信息就是两次不定性之差。

信息是进行控制的基础，同一时期，控制论的奠基人维纳也对信息论的建立作出了重要贡献。维纳从多种角度对于信息进行了论述，他关于信息的见解要更为一般一些，他在《控制论》一书中写道："信息就是信息，不是物质也不是能量。不承认这一点的唯物论，在今天就不能存在下去。"[②] 维纳在这里已经把信息概念与物质世界的最一般的规定性、与世界的本原联系起来理解。他稍后还在《人有人的用处》一书中写道："信息这个名称的内容就是我们对

---

① 庞元正、李建华编．系统论、控制论、信息论经典文献选编．北京：求实出版社，1989 年，525

② 维纳著．郝季仁译．控制论．北京：科学出版社，1963 年第 2 版，133

外界进行调节并使我们的调节为外界所了解时而与外界交换来的东西。接受信息和使用信息的过程就是我们对外界环境中的种种偶然性进行调节并在该环境中有效地生活着的过程。"他在这里就进一步把信息与人的认识、人的生存的基本需要联系起来，并把信息与反馈联系在一起了。他在该书中还指出："消息自身就是模式和组织的一种形式。……正如熵是组织解体的量度，消息集合所具有的信息则是该集合的组织性的量度。事实上，一个消息所具有的信息本质上可以解释作该消息的负熵，解释作该消息的几率的负对数。"[①]

迄今，人们对于信息概念所下的定义不下于数十种之多。王雨田主编的《控制论、信息论、系统科学与哲学》中讨论了六种常见的关于信息的定义：① 信息是人们对事物了解的不定性的度量，从而把信息看作是不定性的减少或消除；② 信息是控制系统进行调节活动时，与外界相互作用、相互交换的内容；③ 信息作为事物的联系、变化、差异的表现；④ 信息表现了物质和能量在时间、空间上的不均匀分布；⑤ 信息是系统的组织程度、有序程度；⑥ 信息是物理载体与语义构成的统一体。[②] 郝宁湘在"对信息本质的分析和认识"一文中讨论了七种常见的关于信息的定义：① 信息是消除了的不确定性；② 信息是系统组织程度、有序程度；③ 信息是物质、能量的时空不均匀性的表现；④ 信息是物理载体和语义内容构成的统一体；⑤ 信息是由信源、信号、信宿构成的系统整体属性；⑥ 信息是生命和自控系统的功能属性；⑦ 信息是物质的普遍性。[③]

物质、能量和信息，是现代社会文明的三大支柱，信息概念的

---

① 维纳著．陈步译．人有人的用处．北京：商务印书馆，1989年，9，12

② 王雨田主编．控制论、信息论、系统科学与哲学．北京：中国人民大学出版社，1988年第2版，336—341

③ 郝宁湘．对信息本质的分析和认识．青海社会科学，1989年5期，117—120

重要性亦可由此略见一斑。上述关于信息概念的种种见解，都有一定的根据，都有其合理性，但都未穷尽信息这个极为一般的概念。信息不是物质也不是能量，但是信息离不开物质载体，信息的传送也离不开能量，物质和能量总是包含有信息的物质和能量。我们可以把信息看作是物质的一种普遍的基本属性，是关于系统的组织性和复杂性的规定性及其表征。

## 19.2 反馈

起初，对于关于系统的反馈的理解是这样的：反馈就是把系统的(部分)输出又反过来作用于系统的输入端，从而对系统的再输入产生影响，进而对于系统整个功能的发挥产生影响，并影响系统进一步的输出。

中国古代和古希腊、罗马时代就已经开始利用反馈过程，18世纪瓦特利用反馈制造了蒸汽机调节器，19世纪麦克思韦对于该调节原理进行了理论研究并进行了数学推导；生理学家贝尔纳(C. Bernard)指出动物躯体中的体液是保持躯体稳定性的条件。20世纪初，人们开始研究了诸如“反射弧”这样的生理反馈现象。20世纪20年代，美国贝尔实验室的哈罗德.布朗克在对于无线电技术的研究中，正式提出了feedback这一概念。20世纪30年代，坎农把动物体液的调节机制称作拮抗装置并进行了实验研究和理论阐述。20世纪40年代，维纳等人进一步把反馈提高到一个新的高度，作为研究一切控制系统(不论是机械系统还是生物系统)共同反熵手段的基本概念。控制论的开创性工作，使得反馈概念变得十分重要。

罗森勃吕特、维纳和别格罗合作对于目的性行为的研究得出一个重要的结论，人的随意活动中的一个极端重要的因素就是控制工程师们所谓的反馈作用。就是说，从结构上看，技术系统与生物系统都具有反馈回路，表现在功能上则是它们都具有自动调节

与控制的功能。说的更具体一些，由于负反馈使得一个控制过程得以趋近其目标值(目的)，因此："一切有目的的行为都可以看作需要负反馈的行为。"[①] 这就是说，行为、目的以及控制，都是以系统的(负)反馈为基础的。他们还写道："目的性行为成了受负反馈控制的行为的同义语，它由于充分限制了内涵而得到了精确的含义。按照这个作过限制的定义，目的论与决定论不是对立的。"[②]

实际上，反馈概念从此就成为了一个十分基本的科学概念。在20世纪40年代，弗兰克已经指出："**反馈、伺服、机构、循环系统和循环过程**，都可以看作完全相同的基本概念的不同的而等价的表述。"[③] 我们知道，在一般系统论中，贝塔朗菲也是十分注重信息反馈概念的，他在《一般系统论》一书中对于系统的反馈调节有许多叙述，他写道：反馈调节概念"基本模型是一个循环过程，部分的输出作为反应的初步结果，有控制地回授到输入中去，因而，在维持某些变量的意义上或者在引向一个预期目标的意义上，使系统成为自调节。在第一个意义上自调节的例子，有最简单的恒温器，有生命有机体维持体温以及其他一些参数的恒定。在第二个意义上的自调节的例子，有自航导弹，有随意运动的本体控制。在技术中和在生理学中更复杂精致的反馈装置是这个基本型式的变形或集合。"[④]

尽管一般而言系统的反馈涉及到物质流、能量流以及信息流，但是在这里最为重要则是信息，是关于系统的一种普遍的属性。系统的反馈，本质上传递的是信息，是关于系统的复杂性和组织性的规定性。在诸如瓦特的蒸汽机转速调节器那样的反馈调节装置中，似乎信息对于反馈的重要意义表现得并不明显，这里直观体现的

---

①、② 庞元正、李建华编．系统论、控制论、信息论经典文献选编．北京：求实出版社，1987年，284，289

③、④ 贝塔朗菲．林康义、魏宏森等译．一般系统论．北京：清华大学出版社，1987年，15，151

是质量、能量以及牛顿力学定律的关系，其中信号是以隐蔽的方式发挥作用。但是对于“一声令下，三军出动”，对于地面通过无线电信号指挥一架遥控飞机的飞行，信息的作用就变得非常明显了，这里的信号就其能量和质量而言都是很小的，重要的不是信号的能量和质量，而是它所传达的信息所起的作用。

人们对于信息反馈重要意义的认识有一个发展和深化的过程，通过系统科学尤其是信息论和控制论的研究，人们才逐步认识到这种重要意义，认识到信息反馈的本质。一般地，可以认为控制论所说的反馈，本质上是从信息角度来说的，也就是说，控制论中的反馈本质上是信息反馈，控制系统中的具体的反馈形式是多种多样的，这形形色色的反馈具有信息反馈的共性。一个系统，无论是技术装置，还是生物机体，乃至是社会文化系统、精神系统、认识系统，尽管其中的反馈回路可以很不相同，但反馈的回路本质上是信息通道，通过信息通信来利用信息对系统组织性、复杂性进行新的规定，对系统发挥作用、调节系统的结构、功能和行为。

控制离不开信息，离不开信息反馈。通信也离不开反馈，通信之中也有信息反馈问题。通信中为了减少失真，使得所收到的消息与原来的消息是一样的，就要抗干扰，也就是要对引起失真的因素加以控制，这与一个系统因扰动偏离目标而必须加以控制是相似的。控制系统要进行信息处理、要有信息反馈才能达到目的；通讯系统要达到可靠、有效，也要进行信息处理、进行信息反馈，同样离不开控制。控制和通信，通过信息反馈而联系起来。

我们的世界处于相互联系之中，而相互联系是有具体内容的，组织规定性就是其中的重要内容，信息就是这种相互联系的重要内容。因此，我们也可以说，这个世界处于信息的相互联系之中，这些相互联系的通道——信息通道组成了一个相互联系之网。相互联系当然不是单向的，而正如其名称所说，是相互的。信息的相互作用，本身就意味着信息的反馈。这个信息相互联系的世界，也就

是一个通过信息反馈联系起来的世界。

就信息反馈的形式来看，最基本的就是A作用于B，B又反作用于A。或说，B接收了A，又可以反作用于A。因此，信息反馈，就其表现形式来说，也就具有循环的形式；这里不仅指输入和输出不断相互作用的循环，也指系统中不同要素、不同关系之间的相互作用的循环。

于是，我们对于信息反馈就有了一个更一般的理解，即把反馈理解为系统的输出和输入之间，以及系统之中的不同要素、不同关系之间的相互作用。贝塔朗菲曾经指出："开放系统动力学和反馈机制是两种不同的模型概念，在各自特定的范围内各有自己的地位。开放系统模型中根本上说是非机械论的，不仅超出了传统的热力学，而且还超出了传统物理学的理论基础——单向因果性。控制论的方法保留了笛卡儿的有机体的机械模型、单向因果性和封闭系统。它的新奇处在于引入了超出传统物理学的概念，特别是引入了信息的概念。最后，开放系统和反馈这一对概念是'过程'和'结构'这对古老的对立面的一种现代化表述；它们最后必将在某些新的综合中得到辩证的解决。"[①] 事实上，我们知道，在一系列动态系统理论中，例如关于系统自组织的理论中，对于信息的理解已经超出了平衡热力学的范围，相应地对于反馈的理解也超出了经典控制论的范围。耗散结构理论证明，具有非线性反馈是形成耗散结构的最起码条件之一。超循环理论研究的超循环就是自催化和交叉催化的反馈圈。协同学中子系统和序参量的相互作用实际上也是反馈过程。

## 19.3 信息反馈是系统稳定性因素

信息反馈的具体形式是多种多样的，从反馈调节的目的和反

---

① 贝塔朗菲．林康义、魏宏森等译．一般系统论．北京：清华大学出版社，1987年，153—154

馈调节的效应上看，正反馈和负反馈是反馈的两种基本形式。所谓的负反馈就是使得系统的运动和发展保持向既有目标方向进行的反馈。

一般来说，负反馈是使得系统保持稳定的因素，使得系统表现出合目的性行为。经典控制论中也主要是讨论负反馈。

轮船的航向偏离了目标，掌舵人就要进行调整，使之重新回到朝向目标的正确航向上来。这里就要用到负反馈，以图实现稳定地驶向目标。汽车驾驶员行车时必须集中精力掌握好方向盘，不断地利用负反馈，才能保证安全行车，顺利地到达目的地。

现实的自然系统也是如此。以生命系统为例，生命系统是不断与环境进行物质、能量和信息交换的开放系统，在正常的生理过程中，机体由于新陈代谢的作用，使机体内部有序结构不断遭破坏，熵不断增加；与此同时，机体又不断与外界交换，将熵输给环境，并从环境接收信息（负熵），在机体内合成高度有序的结构，使熵增的无序因素得以抵消。从信息反馈的角度来看，这实际上也就是一个信息反馈的调节过程。我们把生命系统看作是传递与接受信息的调节控制系统，生命系统中各部分之间的相互影响、相互作用可以看作是信息的传递，而生命过程中的调节、控制与适应性的机制，也可以看作是信息系统对信息的接收、存贮、处理与输出的问题。生命正是利用自己的信息反馈机制，调节自己的活动，包括体内的、体外的活动，从而维持了自己的生存，实现自己的合目的性的行为。在正常的有机体中，机体内的信息反馈机制具有足够的可靠性，使得系统实现自我维持。当疾病以及其他外界因素影响了有机体的信息反馈调节机制，调节变得不可靠时，有机体的正常状态就会受到破坏，信息的传递就要受到噪声的干扰，以致将危害机体的协调活动与机体的生存。

通过机体内的负反馈机制来保证机能的稳定过程，是机体中的一种基本功能。负反馈可以这样来说明，机体中，第一个器官（或

者机能)(以正的信号)刺激第二个,而第二个也可以(以负的信号)刺激第一个。例如垂体与甲状腺的关系就是这种控制的典型例子,垂体分泌促进甲状腺素刺激甲状腺激素分泌;而当血液中甲状腺素增多时,反过来影响垂体,抑制垂体分泌出甲状腺素,因此使血液中的甲状腺素维持在一定水平,系统的稳定性得以保持。

社会系统的管理中,也要大量运用信息负反馈机制。现代化管理系统中,信息控制是最基本的手段之一,没有良好的信息反馈手段,企业就无法对于自己的各项活动进行有效的监督和控制。企业为了达到既定的经营目标,管理人员必须对于各方面的工作,包括产量、质量、材料、消耗、机械维修、成本核算等等规定一定的标准,如果在执行中发生了偏差,就要分析原因、采取措施、纠正偏差,以实现企业的经营目标。

人的认识过程,无论是对于一个具体的认识还是对于整个认识过程,也可以从信息反馈的角度来加以理解。人的认识是对外界能动的反映,就是在接收外界信号的基础上对于信息的处理和加工,并把经过处理和加工以后的信息,再反馈到输入端重新作为输入信息进行再一次的加工、处理,进而再一次的反馈,直至达到一个具体的认识为止。到达一个具体的认识,也就是到达一个认识的稳定状态。对于整个认识过程来说,从实践到认识,从认识回到实践,不断扬弃错误的认识,接近正确的认识,具有了更大的稳定性,也就是通过不断的反馈,得以不断深化不断接近真理的过程。

各种系统理论都非常重视负反馈的稳定性作用,工程控制论中大量运用负反馈来实现种种稳定性,控制论奠基人维纳等人把负反馈看作是稳定性的同义词,对生物控制论发展作出重要贡献的艾什比甚至把负反馈提高到"设计一个脑"的方法论高度。艾什比认为,人脑之所以能够获得信息、处理信息,是由于人脑具有通过负反馈校正偏离中心最佳状态的能力。他根据这种观点制作了非常简单的稳态机,并认为稳态机具有的负反馈的自适应能力就

是“脑”的某种性质。超循环自组织理论提出的超循环组织，实际上就是一种自催化和交叉催化的反馈组织。按照该理论的研究，生物大分子自组织是不可避免的，而且一旦组织起来形成了超循环组织，就具有了“一旦出现就永存下去”的性质，即具有了极大的稳定性，从而保证了系统的生存和向更高的复杂性的生长。

## 19.4　信息反馈推动系统发展演化

正反馈的作用与负反馈的作用表现出恰恰相反的效应，负反馈是控制系统保持在既有目标的作用手段，而正反馈的则可以使得系统越来越偏离既有目标值、甚至导致原有系统解体。

事实上，人们很早就认识了正反馈。美国贝尔实验室的研究人员在对于无线电技术的研究中，正式提出反馈这一概念的同时，既提出了负反馈，也提出了正反馈。罗森勃吕特、维纳和别格罗关于目的性研究的经典论文中，也已经注意了反馈的两种含义，即有正反馈和负反馈。传统上，由于负反馈直接与系统的既有目标的保持、系统的稳定性的维系相联系，而正反馈却是推动系统偏离原有的目标、离开既有的稳定性，这容易使人们产生一种重视负反馈的重要作用，往往把正反馈看作某种不希望的东西，甚至当做是某种令人讨厌的东西来对待。事实上，在一定的条件下，正反馈也是具有建设性作用的，也是系统的维系和发展所不可或缺的。在实践上，人们不仅要利用负反馈，也要利用正反馈，只注意其中的一个方面就会带来片面性。不过，关于正反馈对于系统发展的建设性作用的重要意义，则是随着动态系统理论特别是系统自组织理论的兴起，才真正为人们所认识到，引起人们的重视。

普里戈金在耗散结构理论中，得出了“通过涨落达到有序”的重要结论。一个系统中，总是存在着形形色色、大大小小的涨落，在通常的情况下，这些涨落在系统的自稳定机制的调节下一般不至于影响系统的总体稳定性。但是，在一定的条件下，这些涨落也可

以通过系统中的反馈机制得以放大，以致影响系统原有的总体稳定性，使系统失稳、越过原有的稳定阈值，进入新的系统状态。由此可见，涨落可以是有序之源，组织之源，而涨落之所以可以成为有序之源、组织之源，就在于涨落可以通过系统中的正反馈机制得以放大，以致破坏系统原有的稳定性，进入新的稳定状态。此后，种种系统自组织理论都十分重视涨落；通过系统的正反馈机制放大对系统演化的推动作用，就使得正反馈概念变得引人注目了。

事实上，在理论上重视正反馈的重要作用之前，人们早就自觉不自觉地认识到了正反馈现象了，特别是在实践生活之中与正反馈打交道了。人们认识到，天体的演化中，引力使得弥漫天体物质产生收缩效应，弥漫物质的收缩使得质量集中起来，密度加大使得引力更为集中、更为强大，引起天体物质的进一步收缩，并把更多的天体物质吸引过来，如此不断地正反馈，最后终于形成了大质量的恒星天体。在工程中，例如桥梁建设、机械的设计，设计人员要特别注意共振这样的现象，以避免由于正反馈造成工程、机械的破坏。在无线电装置中，要使之产生振荡，人们却要有意识地利用电信号的正反馈作用。在原子弹的引爆装置中，要用到裂变链式反应，这种裂变链式反应就是一种正反馈过程。又如在植物保护中，为了消灭有害的昆虫，往往用大量繁殖这种害虫的天敌来灭虫，这也是一种正反馈过程。“亡斧者”这则寓言故事，说的是在不正确的心理推动下，形成了正反馈，使得自己把起初的一种推测误作真是如此，以致陷人偏见而难以自拔。科学技术是推动历史前进的火车头，说的是科学技术对于解放生产力、发展生产力具有巨大的正反馈作用。社会生活中的“马太效应”，实际上也就是社会生活中的一种“锦上添花”的正反馈效应。在生产组织的管理运动中，我们也可以见到大量的正反馈现象，及时总结企业中的好的经验并加以推广，这就是利用正反馈，推动企业系统向前发展。企业经济效益与职工收入之间，经济效益好，职工收入提高，又进一步刺激职工的

生产积极性，推动企业经济效益的进一步的提高，这也是正反馈的作用。

俗话说，“锦上添花果真广，雪中送炭本然孤”，这里道出了正反馈有两种不同的情形，一种是使得得到放大的进一步得到放大，一种是被抑制的进一步被抑制。正如生物控制论的研究所表明的，的确存在这样的两种不同趋势的正反馈。第一种是控制者与控制对象相互促进，例如，来自胎儿方面的刺激使子宫不断增长，而子宫也刺激胎儿的生长，两者互相促进。第二种是控制者与控制对象互相阻抑，例如睡眠抑制和感官、交感神经系统活动机制，中枢神经系统疲劳引起睡眠抑制，使感官、交感神经系统活动减少，由于感官和交感神经系统活动减少更加深了睡眠抑制，这就是一种相互抑制的正反馈关系。它们都可以推动系统偏离正常状态，是正反馈的不同表现形式。

## 19.5 信息反馈保证系统稳定性和发展性的统一

正反馈和负反馈都是客观存在的，它们都对于系统具有重要的控制、调节作用。一般来说，负反馈能够保持系统的稳定性，使得系统表现出合目的的行为，面正反馈能够推动系统失稳，推动系统的演化发展。正反馈和负反馈它们是互相区别、互相对立的，但是，值得注意的是，这样的相互区别、相互对立也是相对的，它们之间实际上又是相互制约、互相转化的。信息反馈的辩证法，体现了系统稳定性和发展性统一的辩证法。

正负反馈是相辅相成地起作用的。如果系统中仅仅存在负反馈，系统只是一味地稳定、稳定、再稳定，那么，系统的发展演化就是不可思议的。相反的情形，假如系统中仅仅具有正反馈机制，除了正反馈还是正反馈，那么系统的稳定存在也就是不可思议的，实际上连系统的存在也是不可思议的。以生命系统来说，两种反馈的存在，不仅仅是得以保证生命系统的稳定，而且保证了生命系统的

积极活动。对于生命体来说，正负反馈控制都是必要的。茹科夫指出了两种反馈对于生物活动的重要意义："因为反馈不仅保证有机体内部的原状稳定，而且也保证它的积极行为(但是前者服从后者)，所以对它的生物意义怎么估计也不会过高的。不善于使用正反馈的有机体，在很大程度上易受随机环境偶然现象的有害影响。"①

正负反馈的作用是可以相互转化的。仍然以生命系统为例，生物体内存在许多正负反馈混合的调节系统，例如，甲状腺激素控制调节系统就是这样的系统，其中由下丘脑产生 TRF，通过作用于脑垂体前叶，就使得 TSH 增加并通过血液作用于甲状腺，刺激了甲状腺分泌，而当血液中甲状腺浓度增加以后，反过来会抑制 TRF 和 TSH 的产生，从而维持了人体中甲状腺素的正常浓度。这里就清楚地表现出来正负反馈的相互转化。

由于正负反馈相辅相成、相互转化，所以不能仅仅强调一个方面而忽略了另一个方面。否则就难以理解生命系统何以能够积极地去适应环境，并通过与环境的交换而改变环境。而且，这种正负反馈的相辅相成、相互转化，形成了系统的自发调节机制，使得系统具有整体的、有机的、多层次的联系之网，构成了系统的存在和演化相统一的辩证法。

首先这种辩证法体现为系统的发展是稳定性与发展性的统一。我们在系统的稳定性原理中已经讨论过这种统一性的表现。负反馈是系统具有稳定性的因素，使得系统的运动趋于稳定的状态，保持在原有的质的规定性范围之内，变化在量变的范围内发生。而正反馈则促使系统的运动偏离已有的状态，使得系统的运动趋于失稳，使得系统的变化趋于突破已有的量的规定性，发生质变，进

① 茹科夫．徐世京译．控制论的哲学原理．上海：上海译文出版社，1981 年，100

入新的稳定状态。正如量变和质变具有统一性一样，系统稳定性和发展性也具有统一性，现实世界的系统都是在稳定基础上得以发展的，通过发展又获得新的稳定性。

其次，还表现了合目的性和创造性的统一。负反馈使得系统具有保持趋向既有目标的能力，使得系统运动表现出合目的性。而正反馈促使系统突破已有的存在方式、存在框架，使得系统运动表现出新颖性、创造性。由于正负反馈的相互联系、相辅相成、相互转化，从而就决定了系统的运动表现出合目的性和创造性的辩证统一。

再次，这里也是必然性和偶然性的统一。负反馈抵消着系统中的随机的、偶然的因素，抵抗着环境对于系统的随机的、偶然的干扰，使系统的趋于稳定的、合目的运动，在随机性、偶然性中表现出系统运动的必然性。而正反馈则可以把系统中的随机的、偶然的因素加以放大，也可以对环境的随机的、偶然的干扰作出积极的响应，从而把随机性、偶然性的作用突出出来，使得系统的运动表现出随机性、偶然性。随机性和必然性的辩证法，就在正反馈和负反馈的辩证法中表现出来。

第四，这里还体现了原因和结果的统一。从因果联系的角度看，反馈就其本意而言，实质上就是把结果重新作为原因，并影响进一步的结果。在一定的意义上，可以认为，正反馈以使得原因得以加强的方式影响新的结果，而负反馈却以使得原因减弱的方式影响新的结果。这里没有线性的因果链，而是原因和结果的双向作用，原因可以转化为结果，结果又可转化为原因，使得原因和结果的辩证关系得到活的体现。

总之，信息反馈律对于系统有机体的积极活动具有重要意义。

自然界中死的物体的相互作用包含着和谐和冲突；活的物体的相互作用则既包含有意识的和无意识的合作，也包含有意识和无意识的斗争。因此，在自然界中决不允许单单标榜片面的“斗争”。

恩格斯 《自然辩证法》

# 20 竞争协同律

系统内部的要素之间以及系统与环境之间，既存在整体同一性又存在个体差异性，整体同一性表现为协同因素，个体差异性表现出竞争因素，通过竞争和协同的相互对立、相互转化，推动系统的演化发展，这就是竞争协同律。

现代种种系统理论特别是系统自组织理论，都比较自觉地认识到竞争和协同的辩证作用即对立统一对于系统发展演化的根本作用。人类很早就认识了对立两极的相互联系、相互作用、相互转化。中国古代思想家提出阴阳学说来概括世间万事万物之间的根本关系，把对立统一与衍生万物联系起来。古希腊的米利都学派在对宇宙的本原和万物生成问题的探索中，产生了对立统一的思想萌芽，以后的古希腊哲学家又以“爱憎”来说明元素之间的结合和分离。近代自然科学，尤其是以伽利略、牛顿为代表的经典物理学，以事物的既存为研究对象，一般不去考虑事物的发生和发展，虽然经典科学也力图以吸引力和排斥力来说明自然现象，但是基本上是从事物的量的方面来加以说明排斥和吸引。康德以排斥和吸引两种作用力的相互作用来说明太阳系的起源和演化，从而突破了仅仅把排斥和吸引用来说明量的变化，这里也有质的变化，所以冲破了形而上学的被组织的宇宙观。赫尔姆霍兹认为：“物理学的任

务，……归根结蒂在于把物体现象归结为不变的引力和斥力，而这些力的强度只与距离有关。”① 达尔文进化论的建立，使得人们对于生物界的竞争有了明确的了解。20 世纪系统科学的进展，使得人们进一步深刻认识到协同对于系统演化的意义，认识到既竞争又协同才是系统演化的真正动力源泉，使得竞争和协同成为系统科学的基本范畴。

## 20.1 竞争

系统是要素有机联系的统一体，即是个体的统一体。一系统区别、独立于它系统，也就是该系统具有个体性，可以看作是个体。个体为了保持自己的个体性，个体也处于发展演化之中，决定了它们之间就必然处于相互竞争之中。

世界上万事万物都有自己存在的理由，它们作为个体性的存在，就是处于相竞相争之中而存在。可是人们对于万事万物处于竞争之中的认识却有一个过程。以牛顿力学为代表的经典科学以万有引力把天上和地下的力学运动统一起来，使得物理学领域中吸引概念居于突出的位置。作为对于这种科学思想的哲学反应，正如恩格斯在《自然辩证法》中概括的：“这一时期的自然科学所达到的最高的普遍的思想，是关于自然界安排的合目的性的思想，是浅薄的沃尔夫式的目的论，根据这种理论，猫被创造出来是为了吃老鼠，老鼠被创造出来是为了给猫吃，而整个自然界被创造出来是为了证明造物主的智慧。”② 这是一个万事万物和谐合作的存在世界。

达尔文进化论建立以后，竞争概念在科学领域变得重要起来。

---

① 爱因斯坦、英费尔德著．周肇威译．物理学的进化．上海：上海科学技术出版社，1962 年，41

② 恩格斯．自然辩证法．北京：人民出版社，1971 年，11

达尔文进化论的基本观点是“物竞天择、适者生存”，竞争在这里成为了一个基本的科学范畴。达尔文的生存斗争突出强调了生物为生存而竞争的方面，尽管他同时也对生存斗争有着较宽泛的理解，即生存斗争不仅仅是有竞有争，你死我活。他写道：“我是把这个名词当作广义和比喻的意义来用的，其意义包含着这一生物对另一生物的依存关系，而且，更重要的，也包含着个体生命的维持，以及它们能否成功地遗留后代。”[1]达尔文进化论的成功，人们看到了竞争对于事物演化的推动作用，又使得一些人往往只看到竞争，片面强调竞争的方面。

在系统科学理论中，十分重视竞争概念。在一般系统论看来，系统之所以具有整体性，是以系统中的要素之间存在着竞争为先决条件的。一般系统论的创立者贝塔朗菲写道：“当我们讲到‘系统’，我们指的是‘整体’或‘统一体’。那么，对于一个整体来说，引入组成部分之间竞争的概念，似乎是自相矛盾的。然而，事实上这两个明显的矛盾的陈述都是系统的本质。任何整体都是以它的要素之间的竞争为基础的，而且以‘部分之间的斗争’为先决条件。部分之间的竞争，是简单的物理-化学系统以及生命有机体和社会机体中的一般组织原理，归根结底，是实在所呈现的**对立物的一致**这个命题的一种表达方式。”[2] 突变论创立者托姆认为：突变模型中，“一切形态的发生都归之于冲突，归之于两个或更多个吸引子之间的斗争。因此，这似乎回到苏格拉底前的主要思想家阿那克西曼德和赫拉克利特等人的思想(距今 2500 年！)。”[3]

---

① 达尔文著．周建人、叶笃庄、方宗熙译．物种起源第一分册．北京：商务印书馆，1981 年，79—80 页

② 贝塔朗菲著．林康义、魏宏森等译．一般系统论．北京：清华大学出版社，1987 年，61

③ 勒内．托姆著．周仲良译，张国梁校．突变论．上海：上海译文出版社，1989 年，19

值得指出的是，这里，"对立物的一致"所讲的竞争，是与合作、协同相联系的竞争。事实上，种种系统理论所讲的竞争，都是与合作、协同相联系的竞争，是以协同和合作为基础的、与协同和合作不可分离的相竞相争。我们在后面还要讨论这个竞争与协同的联系和转化问题。

竞争是相互联系的个体之间的一种基本关系。个体之间没有差异性、没有竞争，就谈不上个体。如果个体之间没有关系，即没有相互联系、相互作用，就谈不上竞争。由此决定了竞争属于关系的范畴，表征的是个体之间的一种基本关系。这种关系不是由外来力量强加于个体之间的，而是个体之间固有的。如果把个体之间的关系看作外来力量规定的，就可以不采用竞争概念，而可以如同莱布尼茨那样，认为个体之间的关系是前定和谐的，早就由上帝规定好了。

说竞争是事物、系统或要素具有个体性或保持个体性的必然结果，就是说竞争是事物、系统或要素之间具有差异性的必然表现结果。没有差异，就没有竞争；万事万物都是齐一的，竞争也就是不必要的、多余的。但是，竞争并不一般地等同于差异，竞争是一种差异，指的是过程的差异。换言之，竞争是在过程之中实现的。一般而言，差异可以是指过程的差异，也可以是指状态的差异，即差异可以是过程范畴也可以是状态范畴。而竞争则必须是一个过程范畴，本质上是描述系统的过程。事物、系统或要素在空间共存的差异，体现的是它们在时间过程的地位变更、规模变化、性质改变。离开了此起彼伏，相长相消，也就没有了竞争，谈不上竞争。

## 20.2 协同

协同反映的是事物之间、系统或要素之间保持合作性、集体性的状态和趋势，这与竞争反映的是事物、系统或要素保持的个体性的状态和趋势正好相反。

系统是要素的统一体，同时也就是说要素处于相互合作之中。没有要素之间的合作，各个要素都是绝对的个体，各自为阵，就没有系统，没有系统统一体。我们说，我们面对的世界形成一个整体联系的大系统，即世界具有同一性，这个世界系统的要素-要素之间存在协同。是一个整体上存在着协同的世界。按照我们现在的认识，自然界存在着四种基本相互作用，这四种基本相互作用使得整个世界维系起来，成为一个协同整合的世界；它们维系了观测宇宙之中的形形色色的天体和天体系统，也包括各种各样的微观粒子和微观系统，还包括丰富多采的生命有机体和生命系统，使得种种个体既有独立性、差异性又有集体性、同一性。我们面对的世界是一个系统的世界，因此，正如竞争是这个世界之中的普遍现象，协同同样也是这个世界的普遍现象，反映着这个世界的一种基本关系，在这样的意义上，我们面对的世界就是一个协同的世界。

正如前面已经指出过的那样，一个时期之中，人们只注意到自己所面对的世界上的相互依赖、相互嵌合，并进而将其夸大为仅仅存在协同和合作，一切都是协同和合作所规定的。而另一个时期以来，人们往往看到竞争对于事物、系统发展演化的推动作用，在强调斗争的绝对性时，往往把竞争绝对化了，只看到竞争的一面，忽略了协同对于事物、系统的发展演化的重要意义。它们都是与系统理论的精神格格不入的。

各个系统理论，尤其是系统自组织理论，既注意了竞争也注意了协同。耗散结构理论这一名称就意味着系统要素之间的合作，"耗散"指的是系统与环境的交换，既有与环境的竞争也有与环境的合作，结构当然就意味着系统中要素之间的联系、要素之间具有合作、协同。哈肯说："协同学是研究由完全不同性质的大量子系统（诸如电子、原子、分子、细胞、神经原、力学元、光子、器官、动物乃至人类）所构成的各种系统。本书将研究这些子系统是通过怎样的合作才在宏观尺度上产生空间、时间或功能结构的，尤其要集中研

究以自组织形式出现的那类结构，从而寻找与子系统性质无关的支配着自组织过程的一般原理。"① 事实上，协同学这一名称表明的就是系统的统一性。艾根也说：超循环理论的"目的就在于表明，首先，分子进化中的突破必定是由几种自复制单元整合成协同系统所带来的；其次，能够进行这种整合的机制只能由超循环这类机制提供。"② 超循环组织这一名称也表明了系统的集体性、同一性。耗散结构理论、协同学和超循环理论等等系统自组织理论，都认识到竞争基础之上的合作和协同对于系统演化发展的重要意义，都把研究系统的协同及其表现问题作为自己的任务和目标。

协同和竞争是相互依赖的，没有协同，就没有竞争，同样的，没有竞争，就没有协同。耗散结构是在耗散基础之上的结构，子系统之间通过竞争而实现协同，大分子经过以竞争为主的阶段发展起协同整合的超循环组织。系统如果只有单纯的协同而不是竞争基础之上的协同，整个系统铁板一块，系统就没有了活力。实际上，这时该"系统"已经难以称作系统。换言之，协同、整合的系统必须是以竞争为基础的协同、整合，同时存在着竞争因素的合作。没有竞争，就没有合作。竞争不能离开协同而存在，协同同样也不能离开竞争而存在。

协同作为系统的一个基本关系，正如竞争反映的是系统的过程的关系一样，协同也反映的是过程的关系。从认识论角度说，如果没有过程，事物、系统或子系统之间由松散的联系发展起紧密的联系、由互不相关发展起密切合作就是无法认识的。从事物、系统或子系统本身而言，没有过程，根本就无从表现这样的发展。在一个存在的、无发展演化的世界中，世界的过去、现在、将来都永远如

① 哈肯著．郭治安译．赵惠之校．高等协同学．北京：科学出版社，1989年，1

② 艾根，舒斯特尔著．曾国屏、沈小峰译．超循环论．上海：上海人民出版社，1990年，58

此，无论是竞争还是合作，从根本上说也都是不必要的了。

## 20.3 非线性相互作用与竞争和协同

非线性相互作用是对于线性相互作用而言的。在数学的坐标系中，量与量之间的关系为线性关系时表现为一条直线，而为非线性关系时则表现为曲线。在线性系统中，整体等于部分的简单加和，描述线性系统的方程服从迭加原理，而在非线性系统中，整体不等于部分的简单加和，描述非线性系统的方程不服从迭加原理。这就是说，对于线性相互作用，作用的总和正好等于每一部分作用相加的代数和，这同时还意味着每一部分作用都是独立的、互不相关的，是可以从系统中分割出来加以考虑的。

近代科学，提供的是线性的自然图景，它以找出可解的有序的线性方程为崇高理想。这样的方程被称之为可积系统，它们被认为是大量的、普遍的，不可积主要是表面现象，科学家的任务就是要揭开表面现象，把可积系统找出来。可是19世纪末，数学家却全然令人意外地证明：可积系统是"测度为零"的罕见例外，不可积系统才是普遍存在的寻常现象，而且是本质上的。这就是说非线性才是普遍现象，世界本质上是一个复杂的、非线性的世界。对于非线性相互作用，作用的总和不等于每一份作用相加的代数和，由于非线性相互作用导致了系统的整体行为。反过来说，系统之所以有整体行为，只是因为系统内部要素之间存在着复杂的非线性相互作用。

相互作用是矛盾双方的吸引和排斥、竞争和协同。线性相互作用基础上的对立双方是可以分离开的，面非线性相互作用基础上的双方则是难以截然分开的。应该说，非线性相互作用构成了竞争和协同辩证关系的自然科学基础。只有随着对非线性相互作用认识的深入，才能说竞争和协同的辩证矛盾关系得到了充分的科学论证。以线性相互作用来说明竞争和协同的矛盾时，因为线性相互作用是可以分离的，因而矛盾的各方即竞争和协同也就是可以相

互独立、互不相关的。换言之，这样一来，排斥就是排斥，吸引就仅是吸引，竞争就是竞争，合作就仅是合作，要么全是对立，要么全是同一，要么对立和合作不可贯穿，要么对立和合作只可进行代数式加和运算。实际上，如果一个个矛盾是可以全然独立的，这样实际上就形成不了有机的矛盾体系。与此相反，如果以非线性相互作用来说明矛盾时，因为非线性相互作用是不可分离的，从而矛盾各方也就是相互联系、相关制约的，矛盾各方联系在一起形成了有机的矛盾体系，把矛盾一个个拆开也破坏了其系统性。我们所说的矛盾，指的是辩证矛盾。我们所说的矛盾体系，则指的是有机的矛盾体系。自组织系统中的相互作用，是非线性相互作用，正是非线性相互作用导致的竞争和协同，系统才有整体行为，使得矛盾体系概念重要起来，才有系统的牵一发而动全身，矛盾才成为系统的发展源泉和动力。

种种系统理论讨论的竞争和协同，都是在非线性相互作用基础之上的竞争和协同，这样的竞争和协同是纠缠在一起的，难以分离开的。以非线性相互作用为基础的竞争和协同是不可分离地纠缠在一起的。仅仅看到其中的一个方面就是片面的。恩格斯曾针对达尔文进化论建立以后一些人就只看到片面的竞争时写道："在达尔文以前，他今天的信徒们所强调的正是有机界中的和谐和合作，植物怎样给动物提供食物和氧，而动物怎样给植物提供肥料、阿姆尼亚和碳酸气。在达尔文的学说刚被承认之后，这些人便立刻到处都只看到**斗争**。这两种见解在某种狭窄的范围内都是有道理的，然面两者都同样是片面的和褊狭的。自然界中死的物体的相互作用包含着和谐和冲突；活的物体的相互作用则既包含有意识的和无意识的合作，也包含有意识和无意识的斗争。因此，在自然界中决不允许单单标榜片面的'斗争'。"[①] 在恩格斯的时代，非线性

① 恩格斯．自然辩证法．北京：人民出版社，1971 年，283

相互作用尚未进入科学的视野，恩格斯是从辩证法的高度来论述这种关系的。我们今天认识到非线性相互作用的重要意义，而且随着对于非线性相互作用重要意义的认识深化，使我们得以在科学新成果的基础之上来加深对于矛盾辩证法的认识，加深对于竞争和协同辩证法的认识。

## 20.4 竞争和协同的创造性与目的性

竞争是保持个体性的状态和趋势的因素，也就是使得系统丧失整体性、整体失稳的因素。而作为竞争的对立面的协同——保持集体性的状态和趋势的因素，则是使得系统保持和具有整体性、整体稳定的因素。如果系统只是失稳，越来越不稳定，系统就会解体，最终就会不复存在了。相反的情形，如果系统只是稳定，系统就不可能有发展，因为任何新的因素出现都要引起一定程度上的失稳，尽管这种失稳可以是局部的而非整体的。现实的系统都在发展演化之中，竞争因素和协同因素都是不可缺的，稳定和失稳都是需要的，稳定使得系统可以得到保持，稳定之中的失稳可以导致系统的发展，真正的发展演化都是在竞争和协同、稳定和失稳两种因素相互作用之中实现的，只看到其中的一个方面就是片面的，就不能完整地认识系统的发展演化。

我们知道，即使是处于稳定的系统，其中也有涨落。任何一个现实系统都不可能处于绝对静止的平衡状态。真空状态这种场的能量基态，其中也存在量子起伏；被看作系统演化走向“死亡”的平衡态中，也存在着热噪声即涨落。系统之中普遍存在涨落，恰恰说明系统中的要素之间总是处于竞争之中的，一些要素通过竞争瞬时获得了“涨”，而一些要素则在竞争中瞬时出现了“落”。涨落的普遍性，既体现了运动的不灭，也恰恰说明了竞争的普遍性，说明了协同系统之中不可能没有竞争，竞争和协同不可能截然分离。

超循环理论的创立者就是从竞争和协同总是联系在一起的角

度来思考问题，而不是仅仅考虑竞争或仅仅考虑合作。艾根写道：“催化的超循环也是选择性的，但是，它们还具有整合的性质，允许与其他竞争单元协同作用。不过，它们与任何其他不是它们自身的一部分的复制体的竞争，甚至比达尔文物种还要激烈。它们还有能力建立起作为它们“一旦一永存”型选择行为之结果的综合形式的组织，它不允许与其他超循环系统并存，除非它们是由更高级的联接而稳定化的。”[1]

竞争和协同紧紧的交织在一起，在混沌系统中得到了鲜明的体现。混沌系统也是一个排斥和吸引、竞争和协同的对立统一体。混沌系统是非线性系统，是迄今发现的复杂性程度最高的系统。混沌系统中有奇怪吸引子。奇怪吸引子不同于传统的平庸吸引子，平庸吸引子只有吸引作用。在奇怪吸引子情况下，耗散是整体稳定的因素，它使系统内吸引子以外的状态都向吸引子靠拢，而这些状态一旦达到，吸引子内其运动又是互相排斥的，成了不稳定因素。在混沌区，两个相距很近的点，随着时间的推移会指数地发散开来，这体现了排斥的一面，但两个相距很远的点，又可能无限地靠近，却又体现了吸引的一面。它们在混沌区自由地游荡，又跳不出混沌区去，排斥和吸引、竞争和协同、稳定和不稳定不断地互相作用、交换着地位，共存同一系统中，使系统得以维系。对混沌现象和分形现象的研究还表明，奇怪吸引子具有无穷嵌套结构即反映了系统中的无穷相似性。这就意味着，竞争和协同矛盾是深藏于系统之中的，贯穿于系统之中的。

竞争造成了系统中的涨落，带来了系统中各个子系统在获取物质、能量和信息方面出现非平衡。其中的一些子系统率先突破系统的既有稳定域，认识到其他可能的稳定域；当它们的发现得到许

---

① 艾根，舒斯特尔著．曾国屏，沈小峰译．超循环论．上海：上海译文出版社，1990年，19

多子系统的承认和响应时，就会出现大的涨落，特别是当它得到整个系统的响应时，涨落放大，系统发生质变，进入新的状态。这就是系统自组织理论的一个重要结论：通过涨落达到有序。在这里，实质上就揭示了竞争反映了系统发展演化的创造性因素。

涨落放大，已经是协同作用在发挥作用了。没有协同，就没有涨落的放大。一个系统之所以叫做系统，是因为系统中的要素通过协同作用结合成为具有一定稳定性的系统整体。任何一个系统其中总是存在一定的协同作用，协同使得系统具有整体性，也使得系统具有稳定性，使得系统的演化表现出某种确定不移的倾向，其发展演化的行为是合目的的行为。这就是说，协同反映了系统演化发展之中的确定性、目的性因素。

竞争和协同不仅相互依赖，而且在一定的条件下可以相互转化。通过涨落放大，原有的涨落竞争转化为新的稳定协同，系统进入新的状态。新的协同整合状态之中又出现新的竞争涨落。竞争之中有合作，合作之中有竞争；竞争以协同为基础，协同也以竞争为前提。通过竞争达到合作，在合作之中又进行竞争，竞争又导致新的合作，新的合作之中还会出现新的竞争。竞争和合作，就是这样紧紧地联系在一起的，交换着各自对于系统演化发展的主导地位或发生相互转化。

## 20.5 既竞争又协同推动系统发展演化

竞争和协同的相互依赖、相互转化就是系统的发展演化过程。竞争和协同的相互依赖、相互转化成为了系统发展演化的推动力。

对于以事物、系统的存在为研究对象的科学，可以不涉及或较少涉及事物、系统演化发展的动力和源泉问题。但是，以关于事物、系统的演化发展为研究对象的科学，就必须回答或较多涉及到系统演化发展的动力和源泉问题。各个系统理论尤其是系统自组织理论，都在自觉不自觉地运用着矛盾规律，都在自觉不自觉地把竞

争和协同看作推动系统发展演化的动力和源泉。对于自组织理论，要想避开系统发展的源泉和动力是不可能的；避开了系统发展的源泉和动力，也就没有了系统的自发组织、自我运动。正是在科学理论本身要求的驱使下，自组织理论深入探讨了系统自组织的源泉和动力，加深了我们关于竞争和协同在系统发展演化中的动力和源泉作用的认识。

耗散结构理论认为，系统充分开放、远离平衡，为系统发生自组织演化创造了可能条件，而推动系统充分开放的以及推动系统实现演化的，则正是系统内各个子系统非线性相互作用的结果。在该理论解释中起重要作用的“三分子模型”(即布鲁塞尔器)，其中发生自组织行为的关键环节，就是自催化和交叉催化的非线性相互作用的环链。这里，开放涉及到系统与环境之间的竞争和协同，远离平衡也涉及到系统与环境之间以及系统的要素之间的竞争和协同，系统中子系统之间的非线性相互作用也就表现为系统之中的竞争和协同。总之，耗散结构理论实际上是把竞争和协同作为系统自组织演化的动力和源泉。

超循环在讨论生物大分子的自组织问题时指出，生物大分子的水平上，选择和进化的基础是新陈代谢、自我复制和突变，如果生物大分子中只有“物竞天择、适者生存”这种单纯竞争行为，那么线性发展的最终结果就只剩下某一分子拟种，限制了信息容量和复制精度，出现了生物大分子自组织演化过程中的所谓“信息危机”阶段。要克服这一危机，就必须出现非线性的选择行为，才能使复制的精确度和信息量有较大的增长，提供生命起源的大分子自组织所需的全部性质，允许系统继续向高水平进化。这只有通过竞争达到统一，在竞争的大分子系统中具有协同作用才有可能。超循环理论认为，在某种拟种的分布中，只要发展起各个组分之间的相互作用，无论这些相互作用最初是多么微弱，终将不可避免地出现催化耦合和互补指令，并把二者结合起来，形成协同整合的非线性

非平衡的超循环组织。

协同学更一般地深入讨论了自组织系统中的非线性相互作用机制，建立起一套处理非线性相互作用的方案。协同学指出，系统演化过程中有众多状态变量，在平稳发展时期这些变量所起的作用大致相同，差别不大，但在接近状态变化的临界点时，大部分“快变量”本身变化极快，还未来得及影响或支配系统的行为就已经消灭或转变了；极少数“慢变量”变化相对缓慢，有机会支配或影响系统的行为。因此，慢变量支配和主宰着系统的演化、代表系统的“序”或状态，因而又叫做序参量。慢变量代表的序参量是由子系统的竞争与协同产生出来的，反过来，它又支配着众多子系统。众多子系统对序参量的“侍服”强化着序参量自身，也促进着子系统对序参量的进一步侍服，从而促进整个系统自发地组织起来。而且，序参量可以相互竞争、相互合作和相互共存，从而使得系统的自组织演化具有不同的组织演化形式。这里，系统自组织演化也是由竞争和协同推动的，正如哈肯所说：“我们将看到，很多个体，不管是原子、分子、细胞，还是动物和人，都以其集体行为，一方面通过竞争一方面通过合作，间接地决定自己的命运。”[1]

竞争和协同的对立统一推动了系统的自组织演化的观点，与唯物辩证法的观点是一致的。按照唯物辩证法的观点，矛盾的对立统一是事物发展演化的源泉和动力，唯物辩证法的对立统一规律即矛盾规律就是揭示这种事物发展的源泉和动力的。它认为矛盾双方的既同一又斗争既是事物内部的本质联系，事物发展的源泉，又是事物发展的动力和实质。

---

① 哈肯著．戴鸣钟译．协同学——自然成功的奥秘．上海：上海科学普及出版社，1988年，9

一种新的有序原理出现了，它实质上相当于涨落被放大并且通过与外界交换物质和能量而获得最终的稳定。我们把这个原理称为“通过涨落的有序”。

伊·普里戈金 “结构，耗散和生命”

## 21 涨落有序律

系统的发展演化通过涨落达到有序，通过个别差异得到集体响应放大，通过偶然性表现出来必然性，从而实现从无序到有序、从低级向高级的发展，这就是涨落有序律。

通过涨落达到有序，是系统科学的一个重要结论。19 世纪下半叶，波耳兹曼曾给出关于世界秩序的“涨落假说”：“我们假设全宇宙处于热平衡状态。由于宇宙异常大，宇宙中任何一小部分可以处于一种远离热平衡的涨落状态，我们生活的世界的现状就是这样的状态。”[1] 尽管波耳兹曼已经试图把世界的秩序与涨落因素联系起来，但是他的假说是以平衡态热力学理论为基础提出来的，无论是在物理学上，还是在哲学上，都有难以克服的困难。在吉布斯的统计平衡热力学宇宙图景中，混沌是最可几的，有序是最不可几的，但尽管整体宇宙趋于衰退之中，其中却有一些局部涨落区域具有相反的发展方向，暂时会出现有限的有序增加。20 世纪发展起来非平衡态热力学，普里戈金经过数十年艰苦探索终于建立起来耗散结构理论，作出了“涨落达到有序”这一重要发现，在非平衡非线性热力学基础上给予秩序和涨落的关系以全新的自洽的解释，使得人们对于涨落和有序的关系有了新的深刻的理解，认识到“通

① 张彦、林德宏．系统自组织概论．南京：南京大学出版社，1990 年，184

过涨落达到有序”是系统自组织向上发展的基本途径。普里戈金等人还指出:“自组织的机制就是‘通过涨落的有序’”。[①] 这就是说系统自组织的这个基本途径包含着丰富的内容。

## 21.1 涨落

涨落也被称作起伏,有时也被称作噪声、干扰,从系统的存在状态来看,涨落是对系统的稳定的平均的状态的偏离;从系统的演化过程来看,涨落是系统同一发展演化过程之中的差异。因此,从平衡非平衡角度看,涨落就是系统的一种不平衡性。任何一个现实的系统,都不可能处于绝对静止的平衡状态,都有其非平衡因素。热力学第三定律说,绝对零度不可能达到,就意味着系统不可能处于绝对的平衡状态。所谓的真空这样的场的能量基态,其中也存在着量子起伏;被看作系统走向“死亡”的平衡态,其中也仍然存在着热噪声即涨落。总之,只要是由大量子系统或要素组成的宏观系统,其中就必定存在着一定的涨落。涨落是普遍的,无处不在的。

涨落普遍存在,其表现形式是多种多样的。例如可以划分出如下几种基本类型:[②]1. 从形成涨落作用的主要因素来考察,涨落作用可以区分为内涨落与外涨落。内涨落是指主要由自组织系统内部因素所引起的涨落作用形式,外涨落是指主要由自组织系统外部因素所引起的涨落作用形式。2. 从各种涨落作用对自组织系统整体稳定性的影响程度来看,涨落作用又可以区分为微涨落和巨涨落。微涨落是指其作用程度不能改变系统结构的整体性,其作用不足以破坏系统结构原有稳定性的涨落作用形式;巨涨落是指其作用程度可以改变系统结构的整体性,其作用力足以破坏系统结

---

① 湛垦华、沈小峰等编. 普列高津与耗散结构理论. 西安:陕西科学技术出版社,1982 年,174

② 湛垦华、孟宪俊、张强. 涨落与系统自组织. 中国社会科学,1989 年 4 期 173—184

构原有稳定性的涨落作用形式。3，从各种涨落作用与自组织系统整体演化方式、演化方向等各方面的不同关系来考察，涨落作用还可以区分为正向涨落与反向涨落。正向涨落是指能够推动系统结构整体稳定演化，并促进系统结构整体不断达到新的稳定态与新的有序化阶段的涨落作用形式；反向涨落是指可以干扰或破坏系统结构整体稳定演化，导致系统结构整体失稳并趋向相对无序化的涨落作用形式。

涨落对于系统的作用具有双重性，涨落可以破坏系统的稳定性，也可以使得系统经过失稳获得新的稳定性。在传统的思维中，涨落仅被看作某种不利于系统稳定存在的因素，只被看作干扰、破坏性因素，是人们不希望的、讨厌的东西。的确，对于一个特定的系统来说，涨落是破坏系统的稳定性因素，涨落导致系统中的子系统偏离系统的既有的稳定状态。对系统稳定性起破坏作用，其表现形式是多种多样。例如，当一个系统被利用来作为信息存贮手段时，涨落使得系统失稳就表现为该系统的存贮信息可靠性下降。

但是，在一定的条件下，涨落也是系统发展演化的建设性因素。对于系统的演化发展，正是由于随机涨落这样的因素的存在，驱动着系统中的子系统在获取物质、能量和信息时的非平衡过程，使得一些子系统“涨”、“起”，在瞬间具有了更大的不稳定性，另一些子系统“落”、“伏”，在瞬间具有了更大的稳定性，这样就使得有些子系统在获取资源上具有“优势”，有些子系统在获取资源上处于“劣势”，于是系统之中出现了差异和不平衡。引用协同学的说法，系统之中也就区分出来“慢变量”和“快变量”。在一定条件下，特别是在临界区域附近，涨落加上非线性相互作用形成的关联放大效应，又进一步加剧了这一过程，系统于是雪崩般地形成了序参量，并由这样的序参量主宰系统演化发展的方向和模式。这就是说，正是涨落诱发了系统演化的支配力量序参量的形成。

值得指出的是，通过涨落诱发系统演化，也有两种可能性。一

种是通过涨落达到有序，使得系统得以实现发展进化，这是稍后我们还要进一步较详细加以谈论的内容。没有通过涨落的有序，就没有系统的发展进化。另一种是通过涨落使得系统崩溃，例如，一场大洪水，可以对于一大遍地区是一场大灾难，农业生产系统、城镇生态系统可能遭到大破坏；试设想一下按下核电钮引起的巨大反常涨落，或是一颗较大的流星撞击地球引起的巨大破坏，就可能彻底摧毁地球生态系统，甚至生命也就从此完结。

总之，涨落是无处不在的、普遍的现象，其实质是揭示了同一性之中总是存在着差异的。涨落的表现形式是多种多样的。涨落对于系统的发展演化是一把双刃剑，既可能是破坏性因素，也可能是建设性因素。

## 21.2 有序

有序是指系统内部要素之间以及系统与系统之间的有规则的联系或联系的规则性。

有序是相对的，是相对于无序而言的。无序是指系统内部要素之间以及系统与系统之间的无规则的联系或联系的无规则性。现实的事物、系统都是有序和无序的对立统一，绝对的有序和绝对的无序都是不现实的。高度有序的晶体之中仍然存在一定的缺陷，相位、频率、方向高度一致的激光也有其他方向上的散射光，结构和功能都高度有序的生物体在自我复制中也会出现突变现象。热力学第三定律说绝对零度不可能达到就说明没有绝对的有序，涨落的普遍性也说明不可能存在绝对的有序。绝对的无序事实上也是不存在的，分子热运动是典型的无序但在宏观上也体现出温度、压力等规律性、秩序性。

有序和无序是可以在一定条件下相互转化的。无序的弥漫星际物质，可以转化为有序的恒星以及恒星系，恒星可以解体重新成为弥漫的星际物质，并进而转化为新一代的恒星。生物的生生不

息，实际上也就是经历着有序和无序在发展演化中的不断相互转化的循环。物体在一定条件之下可以发生物态的转化，例如水在一定条件下可以发生气、液、固三态的相互转化，就是有序和无序的相互转化。近代科学的核心是关于事物存在的科学，是以研究自然界的有序现象开创的，哥白尼研究的是太阳系的结构，维萨里考察的是《人体的构造》。康德提出星云假说来说明太阳系的起源时，才真正使得无序概念进入了科学的视野之中。随着关于事物演化科学的兴起，在热力学、进化论之中，就需要深入研究关于有序和无序的转化。

通过涨落的有序，就是指非平衡非线性系统在一定条件下可以通过涨落被放大，实现从无序到有序的转变，从低级有序向高级有序进化。但是，涨落也可能导致系统的解体，也就是系统从有序退化到无序。涨落究竟发挥了何种作用，与涨落的性质有关，也与系统所处的条件有关系。系统的发展，可以是从混沌到有序，也可以从有序复归混沌。例如，在自组织理论反复研究的贝洛索夫一扎鲍廷斯基反应中，人们可以观察到，当处在平衡态时，系统为均匀无序的，随着不断远离平衡态，将依次出现正弦波振荡（耗散结构），复杂周期态，进入混沌，然后是周期和混沌的混合式振荡，以后又出现张弛振荡，显示了从混沌到有序、再到混沌，再到有序。

有序和无序的转变与对称性破缺相联系。人们目前往往用对称性的高低来作为有序程度的标志。完全无序的状态，具有最高的对称性，系统每发生一次从无序到有序的演化，就要发生一次对称性破缺。现代科学认为，自然界的演化，就是一个对称性不断破缺的过程。最初的对称性破缺，引力产生出来；进一步的对称破缺，强力登上了历史舞台；接下去，演化宇宙中又发生了弱力和电磁力的对称破缺；观测宇宙中的四种基本相互作用就是这样产生出来的。生命的起源，是大自然的进一步演化发展中的一次重大的对称性破缺，而具有自我意识的人的出现，则是生命界演化发展的又一次

重大的对称性破缺。一次又一次的对称性破缺、对称性的降低，标志了大自然的从无序到有序，从低级有序向高级有序，由简单有序向复杂有序演化发展的一个又一个不同的阶段。

系统的序的规定性是多方面的。从系统的结构和功能角度，可以划分出系统的结构序和功能序。结构序是系统结构方面的有序性，功能序是系统功能发挥时表现出来的有序性。从时间和空间的角度，可以划分出空间序、时间序和时空序。系统具有空间分布的规则性是空间序，系统具有时间演化的规则性是时间序，系统具有时间演化的规则性又具有空间分布的规则性就是具有时空序。从宏观和微观的角度，可以划分为宏观序和微观序。一个系统，可以是宏观无序而且微观也无序的，例如平衡混沌系统就是如此；它也可以是宏观有序且微观也有序的，例如耗散结构系统即是这样的系统；它还可以是宏观无序但微观有序，非平衡混沌系统就是这样的系统，非平衡混沌系统宏观表面上看是无序的，而实际上却具有非常复杂的秩序，可以说是微观有序。

系统的有序和无序的表现性也是多方面的，各门学科都要直接地或间接地研究事物的有序和无序问题，人们往往根据对象的不同和实践的需要采用不同的量来刻划系统的序。热力学中，熵是一个基本的刻划系统的序的概念，后来人们又引人了负熵概念来刻划系统的序。信息论、控制论中，系统的序是用信息熵来进行度量和刻划的。协同学中，序参量是一个最基本的概念，这是从相变理论中借用过来并加以发展的概念，用以刻划支配系统演化的基本度量。工业生产中，产品合格率、产品纯净度等等指标，其实也是对于生产的某种方面的序的度量；生产管理也就是为了提高生产的有序性。实际上，在社会系统中，序是一个基本的概念，法律制度的建立和健全，就是为了保证社会系统的基本秩序，以利于社会系统的正常运行；其他诸如工业区域分布、商品网点分布、资金周转率、儿童人学率、学生升学率、犯罪率等等，都是以某种形式对于社

会系统中某一方面的序的度量。

## 21.3 通过涨落达到有序

近代科学留给我们的是一幅矛盾的自然图景。这就是生物学与热力学、达尔文进化论与克劳修斯退化论的矛盾。19世纪中叶建立起来的达尔文生物进化论，指出生物进化是由简单到复杂，由低级到高级，由无序到有序，由低级有序向高级有序发展进化的自然图景。与此相反，19世纪中叶建立的热力学却指出了世界的另一种发展演化方向，克劳修斯的热力学第二定律熵表述指出：孤立系统中的热量自发地由高温物体流向低温物体，其中总是自发地发生着熵的增加，直至达到热平衡态时系统的熵就达到最大值。他把这个结论推广到整体宇宙，就为世人描述了一幅江河日下，世界变得越来越混沌、无序的演化图景。

两种演化、两种时间箭头，这是一幅矛盾的演化图景。达尔文、克劳修斯，孰是孰非？这个问题百余年来困扰着科学家。以19世纪建立起来的平衡热力学为基础的科学理论，是不可能解决这个矛盾的。波耳兹曼有序原理，可以对于晶体这样的平衡结构的出现给予解释，但却无法对生物机体这样的活结构的出现给予合理的解释。近平衡区的线性热力学也不可能解决这个矛盾。

耗散结构理论的重要突破是在不与热力学第二定律相悖的情况下证明了，开放系统通过引入负熵流来抵消系统内的熵产生，可能实现从混沌无序的状态向新的有序状态转化。《从混沌到有序》，是耗散结构理论创始人普里戈金与斯唐热合作的一本哲学专著的书名，也是对这一科学发现的一种实质的概括。通过涨落达到有序，就是这种转化的途径和方式。在普里戈金看来："达尔文的理论始于物种自发涨落这样一种假定，然后，选择引出了不可逆的生物进化。于是，就如同波耳兹曼的结论一样：随机性引出不可逆性。然而结果却大不相同。波耳兹曼的解释隐含着对初始条件的忘记，隐

含着初始结构的'破坏',而达尔文的进化却联系着自组织性,联系着不断增加的复杂性。"[①] 他认为:"耗散结构可以被认为是由于物质和能量交换而稳定化了的巨涨落。"[②] 普里戈金与人合作的第一本关于耗散结构理论的专著就叫做《结构、稳定与涨落的热力学理论》。[③]由此也可见他对于涨落在系统发展演化之中的作用是十分重视的。

我们知道,热力学平衡态附近只能产生小的涨落,系统整体上只能是不可逆地趋于平衡态,这些涨落总是被衰减掉,它们只不过是构成了对平均值的一种小的干扰或修正作用,这种作用可按大数定律进行估计,它们对于系统整体的影响实际上是可以略而不计的。当系统处于近平衡的线性区域时,最小熵产生定理保证系统具有使涨落衰减的机制,涨落对于系统整体的影响仍然可忽略不计。但是,当系统处于远离平衡态时,涨落就不一定被衰减,而可以得到放大,这时大数定律失效了,涨落不再是可以忽略的修正项。一旦在临界点上形成了巨涨落,系统就会从热力学分支跃进到耗散结构分支,实现通过涨落的有序。这就是普里戈金的重要发现,由此,涨落被赋予新的意义,而并非如同传统上认为的那样是全然消极的东西。

涨落能否得以放大,其前提是系统是否处于远离平衡以及系统之中是否存在适当的非线性相互作用机制。系统中非线性相互作用使得系统具有了整体性行为,竞争和协同不可分离地交织在一起,系统中各个要素的相互关联,使得微小的、局部的涨落也可

---

① 普里戈金、斯唐热著．曾庆宏、沈小峰译．从混沌到有序．上海:上海译文出版社,173

② 湛垦华．沈小峰等编．普列高津(普列高津即是普里戈金,编者注)与耗散结构理论．西安:陕西科学技术出版社,1982 年,172

③ 葛兰斯多夫、普里高津．海彦合、江耀华译．结构、稳定与涨落的热力学理论．西安:陕西人民出版社,1990 年

以通过这样的整体关联而成为系统整体的性质，使得微小的、局部的涨落牵一发而动全身。自组织系统中的相互作用，是非线性相互作用，在自组织系统中，可以发生涨落的被放大。

在这里，非线性正反馈机制，如同化学反应中那样的自催化作用，对于导致涨落放大有着决定性的意义。涨落代表的是微观组分之间的一种相关运动，通常的涨落其尺度很小，又随机生灭，不同涨落之间联系微弱，不能形成宏观尺度上的关联。不同涨落代表不同的相关运动，它们之间进行着相互竞争，还会与原来的结构进行竞争。一旦条件得到满足，情形就会发生根本性变化，涨落之间的关联尺度迅速增大，不同涨落之间的联系增强，终于形成宏观尺度上的巨涨落。这种涨落实际上代表了一种新的组织方式，一旦这种组织方式被系统机制稳定下来，就形成了一定的耗散结构。通过涨落达到有序，实质上也就是通过竞争实现协同，在新的基础上开始新的竞争和协同之间的相互作用。因此，通过涨落的有序，实质上就是，通过矛盾运动而实现系统的发展。协同学的创立者哈肯也这样写道："涨落和淘汰之间的相互影响导致系统的进化。"[①]

## 21.4　涨落有序与突变分叉，偶然性和必然性

非线性非平衡系统发生相变时，面临着多种可能的前途，存在着多种可能的选择，即系统的发展演化出现了分叉。系统通过涨落达到有序，从无序到有序，从一种耗散结构到另一种耗散结构，从低级循环发展到高级循环，从一种有序态到另一种有序态，从一种混沌态到另一种混沌态，都面临这样的分叉。

分叉点是从旧结构到新结构发生相变的突变点。把突变理论运用于相变过程的研究，揭示了系统相变的丰富多采。不过，突变

① 哈肯．徐锡申等译、校．协同学引论：物理学、化学和生物学中的非平衡相变和自组织．北京：原子能出版社，1984年，253

理论是一种确定论的系统理论，用确定论方程描述系统演化，无法回答系统演化前途存在两个或两个以上稳定定态时系统究竟选择哪一个定态。为此，突变理论引入习惯概念，把用来确定系统如何在多个定态点中进行选择的准则称为习惯。习惯多种多样，遵循哪种习惯，由系统本身的动力学特性和涨落两方面决定。

在分叉点上，系统发展表现出强烈的不确定因素。系统的演化发展，在相变分叉点上面临着重大的选择。在分叉点上，热力学分支失稳，系统具备了离开均匀无序态的可能；分叉点的分叉，提供了系统发展的多种新途径；系统在分叉点对于涨落特别灵敏，一个小的扰动足以使得系统从热力学分支进入耗散结构分支。这里，无论是系统内的涨落还是环境的涨落，由于涨落是作为随机性因素推动系统对于前途进行选择的，这就决定了对于系统前途的选择也是充满不确定性的。

分叉的实现需要涨落力。一般而言，系统的稳定机制只能在稳定分支和不稳定分支之间进行抉择，对于在两个或多个耗散结构分支之间进行抉择，要由涨落来实施。从稳定性角度来看，系统处于平衡态或稳定定态时，即是处于一定的势阱中。在两个不同的势阱之间总是存在着势垒，从一个势阱过渡到另一个势阱，需要克服势垒。小的涨落不可能使得整个系统克服势垒，进而跃出势阱，系统整体上只能停留在原来的势阱之中。但是，一旦出现了巨涨落，系统就可以克服势垒，整体地跃过原来的势阱，进入新的耗散结构分支。这里已经清楚地表明涨落力的作用。分叉需要涨落力，从无序到有序要通过涨落，说明必然性的发展离不开偶然性，必然性要通过偶然性来表现自己。

这种情况还说明，涨落是系统发展的一种原动力。协同学把它称作系统演化的随机力，是“某种初始推动或重复的随机推动”。[①]按照协同学的研究，没有随机的涨落，就没有系统的发展。也可以

---

① 哈肯著．徐锡申等译、校．协同学引论：物理学、化学和生物学中的非平衡相变和自组织．北京：原子能出版社，1984 年，252

这样来叙述，对于一个处于一定稳定态的自组织系统，如果没有涨落存在，这个系统就不可能认识到其他可能的稳定态的存在，正是一些偏离系统既有状态的子系统，通过涨落，率先认识或发现“山外青山楼外楼”。而后，当这种涨落得到其他子系统的响应并在整个系统内关联放大时，整个系统就被诱导推动进入更新更稳定更有序的状态。

总的说来，在分叉点上，决定论失效了，随机选择的非决定论发挥了作用。因此，耗散结构理论认为，在远离平衡系统的演化过程中，决定论和非决定论都有表现的机会，在分叉点之前，决定论起支配作用；在分叉点上，非决定论起支配作用；在新的稳定分支被选择之后，决定论重新又取得支配地位。

随着条件的改变和系统的演化，系统实现了从无序到有序，还可能出现新的临界点，出现新的分叉即二级分叉，以及出现更高级的分叉。这被称作逐级分叉。逐级分叉使得系统从一种有序进入更高一级的有序，从而为系统的连续演化发展给予了说明，为自然界特别是生物界表现出来的复杂性进化提供了一定的说明。

以上实际上仅仅是从一个控制参量的角度来对系统的分叉现象给予说明的，对于多个控制参量，系统的分叉现象将更为复杂，系统将出现更为丰富多采的演化，出现更加丰富多采的新形态。

系统发展演化的分叉，突出地说明了偶然性在系统演化中的重要作用，说明了系统演化是必然性和偶然性的统一。系统发展之中的不确定性并非认识不足造成的，而是系统自组织过程中的客观不确定行为。这首先在于系统内部的不确定性，其次还在于变化中的环境因素的不确定性。我们已经理解到，非平衡自组织系统对于某些涨落格外敏感，微小的随机涨落往往带来出乎预料的后果。最为复杂的自组织混沌系统，甚至就被直接定义为初值敏感性系统，即如果初始条件差之毫厘，则最终结局就可能失之千里。彭加勒已经觉察到仅仅看到发展之中的决定性是不够的，他在《科学与

方法》中写道："可以发生这样的情况：初始条件的微小差别在最后的现象中产生了极大的差别；前者的微小误差促成了后者的巨大误差。预言变得不可能了，我们有的是偶然发生的现象。"[①] 通过涨落的有序是系统发生了质的变化。质变是由量变引起的，量变引起质变这是不可避免的，一旦条件具备，量变可使得系统发生从无序到有序、从一种有序向更高级的有序转化或有序系统向无序系统的退化，这也是不可避免的。但是，从量变到质变，究竟怎样质变，究竟获得何种新质，究竟如何进入某种组织状态，是难以精确预见和把握的。当然，对于某一具体过程，分叉的选择往往是有倾向性的，而可供选择的方式也是有一定限度的，大数定律的多数决定原则也在一定程度上发挥着作用，因而已发生的量变对于质变途径和方式，并非完全没有影响。但是，这种影响决非是宿命论式的影响，已发生的量变并不唯一地预先规定好了质变的途径和方式。新质的多种可能性，只是在难分难解的决定性因素和随机性因素的相互作用中被选择的，从而转化为质的规定性。

## 21.5 无序和有序、进化和退化

我们的世界本质上是一个不可逆的世界，时间之矢永不回头，自然演化指向未来。但是，不可逆并非意味着发展的直线向上，并非意味着演化就只有进化的单行道。现实世界的发展实际上是在可逆和不可逆、前进和倒退、进化和退化的辩证过程之中实现的。

维纳在《人有人的用处》一书中，以"一个偶然性的宇宙观念"为"序言"，讨论了波耳兹曼和吉布斯把统计学引入物理学的宇宙观意义。按照克劳修斯的热力学第二定律表述，宇宙的发展方向是不可逆的、不断下降的退化过程，从其中存在着种种特点和形式的

① 彭加勒著．李醒民译、石雷校．科学与价值．北京：光明日报出版社，1988年，390

有组织和有差异的状态运动到混沌和单调的状态。在吉布斯的宇宙中，秩序是最小可几的，混沌是最大可几的。但当整个宇宙（如果真的有整体宇宙的话）趋于衰退时，其中就有一些局部区域，其发展方向看来是和整体宇宙的发展方向相反，同时它们内部的组织程度有着暂时的和有限的增加趋势。生命就在这些局部区域的几个地方找到了它们的寄居地并向上发展起来。维纳认为，控制论这门新兴科学就是以这个观点为核心而开始其发展的。他甚至认为："我相信，我们必须把二十世纪物理学的第一次大革命归功于吉布斯，而不是归功于爱因斯坦、海森伯或是普朗克。"[①]

他们实际上都是立足于平衡热力学，把不可逆的下降退化看作是自然界的普遍现象，在这样的基础之上来考虑进化和上升并将之看作只不过是局部的、特殊的现象。以平衡热力学为基础，波耳兹曼和吉布斯并未能真正解决可逆和不可逆、前进和倒退、进化和退化的矛盾。

特别是，把世界整体上看作不可逆的下降退化过程，20 世纪的自然科学也提出了不同的见解，这就是："宇宙之进化决不是由通常的热力学第二定律描述的演化。……这个宇宙中的绝大部分熵，很可能百分之百是在宇宙的开端所产生的。换言之，宇宙曾在过去处于热死状态，而不是将在未来达到热死状态。"[②] 考虑了引力相互作用，"宇宙不但不会死（热寂），反而会从早期的'热寂'状态（热平衡态）下生机勃勃地复苏。"[③]

即使暂不涉及上述的极端问题，回到就在我们生活的周围来

---

① 维纳．陈步译．人有人的用处．北京：商务印书馆，1989 年，4

② 普里戈金．曾国屏译．时间的再发现：预测力有限的世界中的科学．国外自然科学哲学问题（中国社会科学院哲学研究所自然辩证法研究室编），北京：中国社会科学出版社，1991 年，174

③ 赵凯华．'热寂说'的终结．现代科学的哲学探索（赵光武主编），北京：北京大学出版社，1993 年，42

说。对于有序无序、可逆不可逆以及进化和退化的把握，也只有在两极的对立统一之中才能真正把握。可逆标志了发展演化过程的可回返性。不可逆则标志了发展演化过程的不可回复性。进化标志着发展越来越复杂有序，退化标志演化变得越来越单调无序。恒星的生生不灭的演化中，有上升的过程，也有下降的过程，重元素是由轻元素合成起来的，重元素也可以重新分解为轻元素。生物界的进化具有不可逆性，已经灭绝的物种不可能重新出现，但是生物进化之中也有退化，一些结构和功能的进化，同时也就意味着另一些结构和功能的退化；返祖现象的出现，也是生物进化之中的退化。

通过涨落达到有序，标志的是系统的向上发展方面。但是，正如我们前面已经指出过，涨落实际上也是一把双刃剑，系统可以通过涨落到达有序，也可以通过涨落造成系统崩溃。生物进化中也曾出现过大规模的生物灭绝，一些生物灭绝了，这又为新的生物的出现开辟了前进的道路。

因此，对于通过涨落的有序，也不能作片面的理解。这里也是必然性和偶然性、前进和倒退、上升和下降、进化和退化相互作用的过程。无论是其中的哪一个方面，都不是线性发展的、一往直前的过程，都不可能以机械决定论的方式来把握。通过涨落达到有序，是对系统稳定性的否定，促使系统失稳，而正是这样的失稳，从而对于失稳再一次否定，通过否定之否定，又使系统进入新的稳定性，实现了一次螺旋式上升、波浪式的前进，使得系统在发展之中得到优化。系统通过涨落被放大实现从无序到有序的发展过程，也就是一个系统的结构和功能得到优化的过程。

应当了解这种自动机制，从而“更上一层楼”，为人类造福。

哈肯 《协同学：自然成功的奥秘》

# 22 优化演化律

系统处于不断的演化之中，优化在演化之中得到实现，从而展现了系统的发展进化，这就是优化演化律。

优化问题是系统科学十分重视的问题，它有一个发生发展的过程。古希腊在讨论建筑中已发现长方形的长与宽的最佳比即黄金分割比，今天的优选法中还广泛运用其倒数。阿基米德证明周长一定时圆所包含的面积最大，这是欧洲古城堡几乎都采取圆形建筑的一个原因。17 世纪微积分中已提出求解函数极值问题。欧拉的名言是，世界上的一切事物无不呈现出极大或极小的特征。他用数学语言表述了这样一种信念：万事万物总是具有其相对优劣性的，研究的目的就是要发现这样的优劣之处。19 世纪为了实现热机效率的改进，推动了热力学的建立，卡诺理想热机的发现提出了热机效率优化的极限。19 世纪下半叶建立起来达尔文进化论，“物竞天择、适者生存”，断定生物发展是一个优胜劣汰的过程，实际上就从理论形态上突出了优化演化问题，生物的进化过程也就是一个在演化之中优化的过程。20 世纪以来，特别是 20 世纪 40 年代以来，系统工程的研究和实践中更加自觉地重视系统的优化问题，系统科学的研究中提出了广义进化论，就把优化演化问题作为了最一般的系统发展问题。

## 22.1 演化

演化与存在是一对相对应的范畴。演化标志着事物和系统的

运动、发展和变化，而存在反映事物和系统的静止、恒常和不变。

世界上没有离开演化的存在，也没有离开存在的演化，存在和运动具有辩证统一性。我们面对的世界，茫茫宇宙不断膨胀，浩浩银河运行变化，太阳家庭天旋地转，生物世界生生死死，这是一个生生不息、发展演化的世界。同时这也是一个具有相对静止性的世界，一物之所以为一物，之所以与另外一物相区别，就必须要以该物具有相对静止为前提。没有相对静止，一切都在瞬息万变之中，就谈不上该物的存在。相对静止并非绝对静止，相对静止只能寓于绝对演化之中，毋宁说相对静止是不显著的演化状态。存在表征了运动的相对静止方面，运动具有绝对性，演化就反映这种运动的绝对性方面。

一般而言，科学认识的发展是首先认识关于事物、系统的存在，并进一步才得以认识事物、系统的演化。近代科学以来的科学发展表明的正是这样一个过程。以牛顿为代表的近代科学是关于存在的科学，即把活生生的发展变化凝固起来加以认识的科学，如果说也谈到运动，则运动仅仅被理解为位移、量的变化，而没有质的变化。在近代科学初期，与那时自然科学才得到初步发展相适应，主要是运用分析方法、认识既成事物，已获得的科学知识还不足以揭示自然现象之间的联系、发展和变化。恩格斯曾指出："这个时代的特征是一个特殊的总观点的形成，这个总观点的中心是**自然界绝对不变**这样一个见解。"①

近代科学从研究存在到研究演化，走过了一个圆圈，19 世纪是科学演化论兴起的世纪。在热力学研究中，建立了热力学第一定理即能量守恒和转化定律，随后又建立了热力学第二定律，发现了系统演化的时间箭头，按克劳修斯的表述，这是一幅退化的演化图景。而生物学中达尔文进化论揭示的是生物界从简单向复杂、从低

① 恩格斯．自然辩证法．北京：人民出版社 1971 年，10

级向高级的蓬勃向上，刻划的却是一幅进化的演化图景。在这样的形势下，形成了科学史上的第一次演化论高潮。关于自然界演化的思想以及其他科学新成果一道，把“自然界绝对不变”的形而上学自然观弄得千疮百孔，为辩证自然观的创立提供了自然科学基础。这个新的自然观，其基本点是恩格斯所表述的：“一切僵硬的东西溶化了，一切固定的东西消散了，一切被当作永久存在的特殊东西变成了转瞬即逝的东西，整个自然界被证明是在永恒的流动和循环中运动着。”[①]

但是，当时牛顿的“存在物理学”仍然雄居自然科学领域，“演化物理学”则在初创时期。哲学的批判能够促进科学的批判，但却不能代替科学的批判，自然科学真正实现由研究存在向研究演化转变，还有待于科学的进一步发展。于是，当时科学思想中有了静止图象与演化图象的矛盾，即牛顿与克劳修斯的矛盾；又有了进化时间箭头与退化时间箭头的矛盾，即达尔文与克劳修斯的矛盾。最令人印象深刻之处还在于，它们竟然相安共处，并行不悖，都在继续发展，似乎存在和演化的确是两个互不相干的世界。

事实上，在 20 世纪初物理学革命的两大成果相对论和量子力学中，情况也没有发生实质性改变。乃至在一定的意义上，相对论和量子力学仍然是属于“存在物理学”的范畴。到了 20 世纪 60 年代，情况发生了很大的变化。在宇观尺度，由于天文观测的新发现，支持了演化宇宙的思想，演化宇宙论就终于占了上风，人们认识到，整体观测宇宙有其历史，系统存在状态只不过是系统演化的相对静止状态。

在对微观世界的深入探索中，人们又进一步认识到，微观粒子并非一成不变，它也是处在生生不息的转化之中。微观粒子不仅是可分的，而且是有生有灭的，有其历史的。从总体上看，两极相通，

---

① 恩格斯．自然辩证法．北京：人民出版社 1971 年，15—16

又是与观测宇宙的历史息息相关的。

在我们生活的宏观领域，20世纪中叶系统科学逐渐登上了科学舞台，并进而得到了极大的传播和普及。初期的种种系统理论主要建立在平衡概念之上，但人们关于既成系统的认识仍然被推到了一个新的高度，系统、层次、结构、功能、反馈、控制、信息这样一些概念获得了前所未有的重要性。到了60年代末，以演化系统为研究对象的非平衡非线性热力学登上了科学舞台，非平衡不可逆性是组织之源、有序之源被揭示出来了。克劳修斯退化论和达尔文进化论的矛盾，也就在热力学第二定律所揭示的不可逆框架中得到了说明。过去被看作对整体行为偏差的涨落干扰在不稳定性中可以成为建设性因素。70年代相继诞生的其余几个关于系统演化的理论，使我们从认识系统自组织演化的前提条件入手，进一步去认识系统演化的动力机制，偶然因素在系统演化中的作用，并且从科学上对系统演化的循环发展形式给予统一的描述，还深刻地揭示出系统演化多样性以及系统组织的相似性、系统演化从混沌到有序、再从有序到混沌的发展全过程。

于是，20世纪的自然科学，从深入认识存在到深入认识演化，就又走过了一个圆圈，使我们有可能运用系统科学的新成果，与本世纪的其他科学新成果一起，从存在和演化的统一上，描述系统演化的全过程，形成系统演化的自然图景，系统演化的世界观。

## 22.2 优化

优化是系统演化的进步方面，是在一定条件下对于系统的组织、结构和功能的改进，从而实现耗散最小而效率最高、效益最大的过程。

系统的优化是在系统演化中实现的，没有离开演化的优化。离开演化就没有优化可言，没有演化，系统的组织、结构和功能就不会有任何新的变化，因此就谈不上优化。当然，演化不等于优化，具

体说来，任何一个系统的演化都具有两种趋势，一是向上发展的趋势，一是下降的趋势，而且向上发展之中也有下降的方面。生物的进化，在总体的进化之中，也有退化方面。因此，系统的优化，应在过程之中来把握。

系统的优和劣是相对的。世界上没有绝对的优，也没有绝对的劣。一定的优总是以一定的劣为对比而言的。没有劣就没有优，没有优也就没有劣。一定的组织、结构和功能，在一定条件下是优，但在另一条件下则不一定为优。羊和骆驼，各有长处。反败为胜，扭转局面，优劣可以转化。优和劣，只能在辩证统一之中来加以把握和理解。

在反映优劣的客观基础之上作出的优劣判断，是一种价值概念，体现的是一种价值判断。对于人的生活来说，人们总是要追求完美、追求更高的境界，正是在人的价值追求的意义上，我们可以说，优化有其绝对性，体现了人的一般追求和一般目的。系统的优化总是与一定的目的相联系的，具体的优化与具体的目的相联系，离开目的性就没有参考点，就无法定义优劣。从动态过程来看，系统的目的性是系统优化的目的，是系统实现优化的结果，同时，系统的优化又正是系统实现目的的过程，是系统实现目的的手段。我们说，在人追求更好生活价值的意义上，可以说系统优化具有绝对性的一面，这并不等于承认有某个现成的绝对目标，这里的绝对性只能在无数的相对性中得到实现，绝对性寓于相对性之中。客观世界的不可穷尽性，客观世界的无限发展性，决定了人们的目标总是根据这样的发展变化作出相应的调整以适应这种发展变化的。这里也就意味着，系统的优化是相对的，如果说其具有绝对性的话，那就只有在无数的相对优化之中得到实现，是寓于相对性之中的。人们现实的优化实践都是相对的，是相对性和绝对性的统一。

优化演化具有普遍意义，是一种普遍现象。物理问题往往涉及优化，最速落径，即在重力场中两点之间，无数条曲线之中只有一

条曲线使初速为零的质点沿着这条曲线质点运动得最快，需要的时间最少。物理学哈密顿原理指出，在守恒系统中，一动力学体系在一定时间内，从一点至另一点，总是选择使拉格朗日函数的时间积分为极值的路径。而费马原理则揭示了光线在任何介质中，总是沿需时最少的路径传播。这些都是物理世界中的最小值原理，表征着物理世界的种种优化。

现代科学成果表明，观测宇宙整体上的演化过程也是一个优化演化过程，对称破缺、从不稳定走向稳定，就是一般的优化趋势。最小势能原理表述的正是这样的一般趋势，即所有的存在物都以取得最小势能、获得最大稳定为自己的一般目的。原子、分子以及种种无机物，在与环境的相互作用中，要遵循这样的一般趋势，即要通过与环境的相互作用使自己的存在不自觉地取得有利的地位，得到优化。否则，它们就不可能在环境之中稳定存在，组织和结构就会解体。而且，正是这样的相对静止和稳定，造成了无机界向有机界转化的一种基本前提。

生物进化也是一个优化演化过程。物竞天择、适者生存，这里的“适者”也就是优者。生存斗争，优胜劣汰，自然选择，适者生存，就是演化优化律的生动体现。达尔文写道：“自然选择在世界上每日每时都在精密检查着最微细的变异，把坏的排斥掉，把好的保存下来并把它们积累起来；无论什么时候，无论什么地方，只要有机会，它就静静地不知不觉地在工作，把各种生物与有机的和无机的生活条件的关系加以改进。”[①] 优化和适者，以不同的方式表达同样的内容。实际上，连人的进化、人从动物界分化出来，也是有机组织优化、结构优化和功能优化的结果。没有组织的优化、结构的优化和功能的优化，就不可能有人的出现。我们讨论从猿到人转变中

① 达尔文．周建人、叶笃正、方宗熙译．物种起源第一分册．北京：商务印书馆，1981年，101

直立行走的意义、食性改变的意义、脑组织进化的意义等等，实质上就涉及到相应的优化问题。

## 22.3 自组织优化和(被)组织优化

通常人们实际上是把自然系统的组织、结构和功能的自我改进称之为进化，而把人工对于系统的组织、结构和功能的改进才称之为优化。我们认为，两者实质上具有一致性，所以这里把前者称作自然优化，后者称作人工优化。自然优化是自然系统的自组织优化，人工优化是人对于对象进行组织的优化。

大自然的自组织优化是普遍的，生物进化最能体现自组织优化。实际上，人们是把生命尤其是人看作自然界自组织优化的最优产物。这是一个非常漫长的过程。生命在地球上大约是30多亿年前出现，这就意味着生命系统的优化已经经历了30多亿年的历史，而其中人的诞生也有了两三百万年的历史。亿万年来，多少次的阶段性优化，适者生存，才有了今日令人感叹的生命形态，鱼具有流线性体形以利于在水中的运动和生存，植物的根干根茎呈现出圆柱形可以最大限度地输送养分和发挥支持功能而消耗最少，螳螂能在0.05秒的一瞬间计算出飞掠眼前的小昆虫运动参数而一举捕获之，蝙蝠的准确定位和穿梭飞行以及甚至可以在半秒内捕捉两只昆虫，动植物具有的极高的能量利用效率；特别是人，比起动物来，具有更多的更大的质上全新的优越性，能够认识世界、也认识自己，成为大自然自组织的最优化产物。

系统优化作为系统科学的一个基本概念，首先是在工程技术中兴起并受到重视的。一般而言，在既定条件下，可以按照不同的方案去办事，而办同一件事，采取不同的行动方案往往具有不同的效果。这就有一个如何确定种种可能的方案并从中选择出适当的方案，以便最完满地到达预期的目标。这是运筹决策过程，从系统优化的角度来看，运筹学就是运筹优化之学。人们在实践中要大量

地涉及这样的运筹优化问题，从运筹学目前已经发展起来的近20个分支也可以看出这一点，运筹学其中包括规划论、线性规划、动态规划、非线性规划，分解协调原则，排队论，对策论，决策论，库存论，搜索论等等运筹优化的方法。

在控制论领域，控制过程是系统状态转移过程，或系统功能输出从非期望的初值向预期的终态值转移的过程。经典的控制论从使系统稳定地实现这种转移出发，以求改善系统在典型输入状态下的暂时响应和稳定响应，初步接触到系统优化问题。现代工业控制、航天技术等领域的复杂系统不能仅仅满足这种要求，需要设计出涉及多变量的各种高性能的控制系统。由于控制规律的不同，实现从初态到另一种状态，可以由不同的轨迹来完成，这就要求从多种可能的轨线中选择最优的轨线，在确保系统实现状态转移的同时，获得某种性能指标的最佳值。寻求最优控制是现代控制理论的一个突出特点。所谓最优控制，就是要选择一个信号区，将其输入到被控系统中去，使得系统的某一动态性能达到最优值，同时还要兼顾到一些限制条件。当系统的特性为已知时，一般是能够达到最优控制的。即使系统的输入信号与噪声(或扰动)中具有随机的因素，也是可以通过状态滤波器进行滤波，以达到最优控制。

事实上，系统与环境是相互联系着的，环境的变化往往要影响到系统的特性，而这种影响又不能事先知道，尤其对于复杂系统更是如此。这就提出了一项重大的任务，要研制自适应系统，以便能够根据环境或其他条件的变化，自动调整有关的参数以持续保证系统处于最优状态。随着现代控制理论的进展，自适应系统的研制就日益显示其重要性。

自适应系统的进一步发展，出现了自学习系统。人们在设计这种系统时，不必知道有关控制的确切算法，而只要给出到达这一算法的途径就够了，然后系统就能根据自己运行过程中的“经验”，不断修正与改进算法，直至到达最优或接近最优的程度。

在自适应系统与自学习系统的基础上，人们进一步将一些事先不能完全确定其控制环境与对象，也不确切知道其控制算法与条件，但能够通过自身的运转，逐步积累“经验”，改进控制以逐步达到最优或较优的系统，统称为自组织系统。另外还有所谓的自繁殖系统、自修复系统也属于自组织系统。

实际上，现代控制理论中所研究的自适应、“自学习”等系统都是对于自然系统尤其是生物系统自组织功能的一种技术模拟。多层控制中，从总任务到被控对象或过程，最底层的是自组织层，然后依次是自适应层，最优化层和直接控制层，自组织层是指由大系统的总目标、总任务与环境条件的变化（慢扰动）来制订决策，计划协调与组织管理的机构与功能。自适应层是指根据系统的运转情况采取相应的适应性措施，以保持系统最优运转的机构与功能。近年来，自组织理论的进展，又推动着对于自组织优化的研究。总起来说，被组织系统可以向自组织系统学习，从（被）组织系统向自组织系统发展，体现了人们对于系统优化研究的深化一个基本方面，自组织性，是系统优化所追求的境界。当然，正如组织和自组织只能在辩证关系之中加以把握，系统的自组织优化也是在这样的辩证性之中来把握的。

## 22.4 系统优化最重要的是整体优化

系统优化并非是某种质点式的优化，其核心是系统作为一个整体的优化，系统具有整体性决定了系统的优化只能是系统整体的优化，即作为系统整体取得最好的组织结构和组织功能。

从整体与部分或系统与要素的关系来看，系统优化可以划分出三种基本情况：[1]1. 每个局部的子系统效益都很好，组合起来的

---

① 邹珊刚、黄麟雏、李继宗等编著．系统科学．上海：上海人民出版社，1987 年，283—284

整体系统也最优。2. 局部子系统的效益好，但整体系统并非最优。3. 从局部看并非最好，但全局看却是好的。整体优化原则就是要根据已确定的目标，在整体效益最优的原则下，处理好局部与整体的关系，争取第一种情况的实现，即争取子系统最优，整体系统也最优。在整体优化的前提下，同时考虑到、照顾到局部利益。在两者发生严重冲突时，局部利益就要服从整体利益。整体效益差，最终必然要影响局部，使得局部的利益也失掉。而整体利益好，则最终也就带动了局部向好的方面发展，使得局部受益。

系统优化最为可贵的地方，不仅在于局部优的情况下追求整体优化，而更在于即使在局部存在有缺陷的情况下，也能通过协调而实现整体优化。使得局部的、部分的劣势转化为整体的全局的优势。“三个臭皮匠，顶个诸葛亮”，其中也包含着这个道理。

类似地，从时间角度看，对于长远利益和眼前利益，也有三种情况。即长期利益与短期利益一致，长期有利，短期不利，以及短期不利但长期有利。相应地应该是以长期利益为出发点，照顾到短期利益，正确处理好长期和短期之间的辩证关系。其中最为可贵的也是在短期利益看来不佳的情况下，通过整体优化，合理规划来实现短期利益，并有利于长期利益。

整体上优化也包括形成新的层次，即形成更高级的反馈机制，来实现系统的优化。正如超循环理论的研究表明的，系统整体可以通过系统之间的会聚形成超系统的新的系统整体，并得以向复杂化和优化方向上进一步发展。

由于要素之间的非线性相互作用是系统具有整体性的内部根据，所以系统优化的内部根据就在于系统之中的非线性相互作用，即取决于系统与要素之间的竞争和协同。我们知道，竞争和协同是辩证联系着的。整体优化离不开系统的协同，没有子系统之间的协同，就没有整体的优化。协同使系统具有整体性，整体稳定性，协同导致优化。人的双眼的协同作用，使其视觉功能大大超过了两只单

眼视觉功能的相加。实验表明，双眼的视敏度要比单眼高 6—10 倍。横向经济联合，互相取长补短，发挥各自的优势，企业都搞活了。但是，如果系统之中仅仅存在协同，没有竞争，那么系统实际上就成为了铁板一块，也就无法优化。协同是通过竞争而实现的，协同之中仍然有竞争。系统优化就建立在子系统通过竞争而实现协同，并且在协同之中仍然有竞争的基础之上。

系统优化的实现，是通过系统组织、结构和功能的改进来体现的。自然系统演化的逐级分叉现象，也可以说是系统一步一步适应变化了的环境。在一定的条件下，系统可以通过自己内部的调整来适应环境，但是当条件的变化，使得系统的演化超过临界值时，系统也就不能继续维持在原来的稳定状态，必须形成新的结构，以适应改变了的新的环境。通过涨落的有序，也正是这样的优化演化。

## 22.5 系统优化是系统发展演化的目的

优化演化是系统科学研究的重要课题，也是系统科学实践的目的。大自然自发地在演化之中实现优化，这才有了从从混沌到有序、从低级有序向高级有序的发展。人们在认识和实践中，在建立优化理论之前，就已经在进行着优化的实践，家畜的驯养、作物的改良、工具的革新、生活条件的改善，这些都是人们进行的优化实践。一般地，人类社会的发展过程，也可以说就是一个不断在演化之中实现优化的过程，社会的进步就是社会优化演化的表现。科学技术研究和实践中总是要自觉不自觉地涉及优化问题。

正因为系统优化是人类实践的一般目的，因此，系统优化就与各个系统原理、系统规律有着密切的内在联系。整体性，可以说是系统优化的核心。系统优化的动力来自系统内部以及系统之间的协同和竞争。层次性，是系统优化的一种方式，系统工程的实践就是要追求系统的优化。离开了对于系统优化的追求，就没有了价值，实践就没有了意义。

种种系统自组织理论，可以说，也都是围绕着研究系统如何从混沌到有序，从无序到有序问题的研究发展起来的，也就是从研究系统如何优化问题发展起来的。耗散结构理论表明了系统优化的一些基本前提，协同学着力讨论了系统优化的内部机制，超循环理论表明协同整合的超循环组织的形成本身就是系统优化的一种形式，并且使得系统可以进一步地得以优化。

系统的发展程度和系统的优化之间存在着一种正的比例关系，系统发展程度越高，系统的发展就越快，就越是得到了优化。"形态愈高，发展愈快"是系统进化的一条基本法则，也是系统优化的一条基本法则。在生物界的进化过程中，那些最为聪慧的生灵得到了较快的发展，而且也在适应自然上得到了优化。社会的发展也是这样，也只有在社会的充分发展基础之上才可能得到充分的优化，才能为全体社会成员提供真正的平等和平等的机会。

系统之所以形态越高，发展越快，越是得到优化，原因是多方面的、综合的。在系统的发展过程之中，系统的通讯能力、自稳能力、适应能力等等，都必然得到了相应的发展和优化。这样一系列的优化，使得系统有机整体，具有较大的灵活性，使得系统整体越是能够较快地建立起系统内部的协调以及与环境的协调，从而得以更加灵活地应付环境，在环境约束中获得更大的自主性，具有更大的自由。

人从自然界发展而来，当这朵最美丽的精神之花盛开在地球上，成为觉醒起来的大自然的自我意识，从此，大自然的发展和优化，这里首先是最贴近人的生活的自然界的发展和优化，就与人的计划、设计和主动自觉的奋斗联系在一起。人不再全然被动地适应自然，而是积极主动地去适应自然。人以宇宙之中的真正的最高级的目的性行为，把天然的自然改变成为人化的自然。他们以对于自然规律认识为基础，影响和设计着自己的未来，规定和推动着自然系统的优化演化，使得自然的演化从不自觉的优化进入自觉的优

化阶段。

对于人类来说，自身虽然仍然受进化法则的制约，而且种群内部的生存竞争甚至比一般动物还要来得更广泛、深刻和剧烈，但他自身的进步方式也同样跨入了优化的新阶段。这主要表现在两个方面：其一，他自身的力量是微不足道的，不同人种、民族之间的体力、智力差别也是微不足道的，它们在竞争中的优胜劣汰的主要依据不在他们自身，而在它们所拥有的知识技术力量所派生出来的经济、军事力量，在于他们所掌握的知识技术体系的优化程度。其二，人类同时也在优化自身——他正在打破传统的天赋的与动物一样的遗传变异的机制，人为地改变和加速人类的进化节律，以知识和技术手段直接改变自身，以得到迅速的优化。

通过工具，人的本质与肌体得以外化出去并得到千百倍的放大，他的进化能力同样也得到极度的放大。人作为大自然的产物不可能彻底摆脱大自然进化节律和进化法则，但工具系统却是人的产物、知识的产物，是作为"物化的智力"、"在机器上实现了的科学"（马克思语）而出现的，所以它远远超脱了缓慢的一般进化机制，它以知识的指数发展的速度、信息进化的形式向前奋进。也就是说，人通过智力的物化而取得了超越性的发展；人通过他的体外进化而取得了自身进化的新方式；并且，他正是通过这一形式而在时间与空间中无限伸张地透入自然、主宰自然与自然积极协调的。工具系统，它对于自然来说是一个活动着的主体，对人来说却是一个外化出去的客体，人又可支配它，改进它，极其迅速的扩张它，强化它，于是人在自己的对象物前和自然界面前才拥有了无限的能动性、创造性和自由度。[①]

随着系统形态的发展，系统变得越来越复杂，这就提出了一

---

① 丁长青．人的体外进化——人与自然的新对话．自然辩证法研究，1994 年 3 期，18—24

个重大问题：复杂系统的稳定性问题。在耗散结构理论的创立者普里戈金看来，复杂系统的稳定性必须取决于复杂系统的通讯能力。他写道："系统内部发生的通信越快，不成功的涨落所占的涨落的百分比就越大，因而系统就越加稳定。""的确，系统越复杂，威胁系统稳定性的涨落的类型就越多。那么，人们会问：像生态组织或人类组织那样复杂系统怎么可能存在呢？它们怎样设法去避免永久的混沌呢？通信的稳定化作用，扩散过程的稳定化作用，可能是对这些问题的一个不全面的回答。在复杂的系统中，物种和个体以多种不同的方式相互作用着，系统的各个部分间的扩散和通信大概都是有效的。通过通信的稳定化与通过涨落的不稳定性之间存在着竞争，竞争的结果决定着稳定性的阈。"① 因此，在系统自组织理论看来，复杂系统的稳定性是可以通过通讯系统的改善和优化来保证的。这就为复杂系统，其中也包括复杂的社会系统的可控性问题、在稳定基础上的发展优化问题，提供了一条思路。

人们研究自然系统的优化演化，并形成系统优化方法。生物控制论中最主要的问题之一，是自组织和最优控制的问题。这是生物系统的特征，是生物系统长期进化的结果。当然，物理学、化学、工程技术中也有自组织系统和最优控制的问题，但它们的自组织系统的能力远不如生物系统所具有的那种规模和程度。生物系统是一个极为复杂的、性能完善的多级结构的大系统，人们总是希望通过对于生物系统的研究，更好地认识这些原理。从而推动人工系统的优化。通常，在系统工程中，运用优化方法一般可采取如下步骤：1. 提出优化问题，并收集有关数据和资料；2. 建立优化数学模型，确定变量，列出目标函数和约束条件；3. 分析模型，选择合适的优化方法；4. 求出优化解，一般通过编制程序，用计算机进行运

---

① 普里戈金、斯唐热著．曾庆宏、沈小峰译．从混沌到有序．上海：上海译文出版社，1987 年，235—237

算；5. 优化解的检验和实施。这样的步骤相互制约、相互联系，在实践中往往是交叉进行。

总之，人们的系统科学实践，把实现系统的优化作为自己的一般目的和现实追求，从优化设计到优化计划、优化管理、优化控制，最终是为了实现优化发展。

# 参考文献

阿尔贝勒著.朱熹豪等译．大脑、机器和数学．北京：商务印书馆，1982年

B.Г.阿法纳西耶夫著．王中宪等译．社会系统性及其认识和管理．哈尔滨：黑龙江人民出版社，1987年

阿希贝著．设计一个脑．北京：科学出版社，1984年

M.艾根、P.舒斯特尔著．曾国屏、沈小峰译．超循环论．上海：上海译文出版社，1990年

L.V.贝塔朗菲著．林康义、魏宏森等译．一般系统论——基础、发展和应用．林康义校，北京：清华大学出版社，1987年

冯.贝塔朗菲、拉威奥莱特著．张志伟等译．人的系统观．北京：华夏出版社，1989年

邓聚龙著．灰色系统、社会、经济．北京：国防工业出版社，1985年

D.L.菲利普著．吴忠等译．社会科学中的整体论思想．银川：宁夏人民出版社，1988年

冯国瑞著．系统论、信息论、控制论与马克思主义认识论．北京：北京大学出版社，1991年

J.格莱克著．张淑誉译，郝柏林校．混沌学——开创新科学．上海：上海译文出版社，1990年

葛兰斯多夫、普里高津著．海彦合、张建树、江耀华译．结构、稳定与涨落的热力学理论．西安：陕西人民教育出版社．1990年

郭治安、沈小峰编著．协同论．太原：山西经济出版社．1991年

H.哈肯著．张纪岳等译．协同学导论．西安：西北大学．1981年

H.哈肯著．徐锡申、陈式刚、陈雅深等译．章扬忠、徐锡申校．协同学引论．北京：原子能出版社．1984年

H.韦德里希·哈格著．郭治安、姜璐、沈小峰编译．定量社会学．成都：四川人民出版社．1986年

H.哈肯著．宋有政等译．协同学讲座．西安：陕西科学技术出版社．1987年

H.哈肯著．戴鸣钟译．协同学——自然成功的奥秘．上海：上海科普出版社．1988年

H. 哈肯著．郭治安、宁存政、王鸿澳等译．信息与自组织．成都：四川教育出版社．1988 年
H. 哈肯著．郭治安译．赵惠芝校．高等协同学．北京：科学出版社．1989 年
郝柏林、于渌等编著．统计物理学进展．北京：科学出版社．1981 年
黄麟雏、李继宗、邹珊刚．系统思想与方法．西安：陕西人民出版社．1984 年
埃里克·詹奇．曾国屏、吴彤、宋怀时等译．曾国屏校．自组织的宇宙观．北京：中国社会科学出版社．1992 年
金观涛等著．控制论与社会方法论．北京：科学普及出版社．1984 年
姜璐、王德胜等编著．系统科学新论．北京：华夏出版社．1990 年
库兹明著．贾泽林等译．马克思理论和方法论中的系统性原理．北京：生活．读书．新知三联书店．1980 年
G. 克劳斯著．梁志学译．从哲学看控制论．北京：中国社会科学出版社．1981 年
A. 拉波波特著．钱兆华译．闵家胤校．一般系统论：基本概念和应用．福州：福建人民出版社．1994 年
E. 拉兹洛著．闵家胤译．用系统的观点看世界．北京：中国社会科学出版社．1985 年
E. 拉兹洛著．李创同译．系统、结构和经验．上海：上海译文出版社．1987 年
E. 拉兹洛著．闵家胤译．进化——广义综合理论．北京：社会科学文献出版社．1988 年
E. 拉兹洛著．闵家胤译．世界系统面临的分叉和对策．北京：社会科学文献出版社．1991 年
E. 拉兹洛著．闵家胤译．系统哲学讲演录．北京：中国社会科学出版社．1991 年
李如生编著．非平衡态热力学和耗散结构．北京：清华大学出版社．1986 年
卢侃等编译．混沌动力学．上海：上海翻译出版公司．1990 年
刘洪主编．新学科精览．北京：中国科学技术出版社．1990 年
刘长林著．中国系统思维．北京：中国社会科学出版社．1990 年
马名驹著．系统观与人类前景．北京：中国社会科学出版社．1993 年
马清健著．系统和辩证法．北京：求实出版社．1990 年

苗东升编著．系统科学原理．北京：中国人民大学出版社．1990 年
苗东升、刘华杰著．浑沌学纵横论．北京：中国人民大学出版社．1993 年
B. B. Mandelbrot, Fractals: Form, Chance and Dimension, W. H. Freman, 1982
莫伊谢耶夫著．吴仕康译．人和控制论．北京：生活．读书．新知三联书店，1987 年
尼科利斯、普里戈京著．徐锡申、陈式刚、王光瑞等译．非平衡系统的自组织．北京：科学出版社，1986 年
尼柯里斯、普利高津著．罗久里、陈奎宁译．探索复杂性．成都：四川教育出版社，1986 年
庞元正、李建华编．系统论、信息论、控制论经典文献选编．北京：求实出版社，1989 年
普里戈金著．曾庆宏、严士健、马本坤等译．刘若庄、方福康校．从存在到演化——自然科学的时间及复杂性．上海：上海科学技术出版社，1986 年
普里戈金、斯唐热著．曾庆宏、沈小峰译．从混沌到有序——人与自然的新对话．上海：上海译文出版社，1987 年
P. 切克兰德著．左晓斯、史然译．张华夏审校．系统论的思想和实践．北京：华夏出版社，1990 年．
钱学森、宋健著．工程控制论．北京：科学出版社，1981 年
钱学森等著．论系统工程．长沙：湖南科学技术出版社，1982 年
钱学森主编．关于思维科学．上海：上海人民出版社，1986 年
尼．伊．茹科夫著．控制论的哲学原理．上海：上海译文出版社，1982 年
P. T. 桑德斯著．凌复华译．突变理论入门．上海：上海科技文献出版社，1983 年赫伯特．
申农．沈永朝译．吴伯修校．通讯的数学理论．见：信息论理论基础．上海：上海市科学技术编译馆，1965 年
申农、威弗尔．鲁品越译．通讯的数学理论的新发展．见：系统论、控制论、信息论经典文献选编．北京：求实出版社，1989 年
沈骊天著．系统、信息、控制科学原理．南京：南京大学出版社，1987 年
沈小峰、胡岗、姜璐编著．耗散结构论．上海：上海人民出版社，1987 年
沈小峰、曾国屏．超循环理论的方法论问题．北京师范大学学报（自然科学

版)．1988年3期
沈小峰、曾国屏．超循环论的哲学问题．中国社会科学．1989年4期
沈小峰、曾国屏．自组织问题．见：国外自然科学哲学问题(中国社会科学哲学研究所自然辩证法研究室编．邱仁宗主编)．北京：中国社会科学出版社，1991年
沈小峰、曾国屏．一位热力学诗人——普里戈金．科学，1991年3期
沈小峰、吴彤、曾国屏著．自组织的哲学——一种新的自然观和科学观．北京：中共中央党校出版社，1993年
沈小峰、吴彤、曾国屏．论系统的自组织演化．北京师范大学学报(社会科学版)，1993年3期
沈小峰．混沌初开——自组织理论的哲学探讨．北京：北京师范大学出版社，1993年
宋健著．科学与社会系统论．济南：山东科学技术出版社，1991年
R.托姆著．周仲良译．突变论：思想和应用．上海：上海译文出版社，1989年
汪应洛、黄麟雏主编．系统思想与科学技术发展战略研究．西安：西安交通大学出版社，1985年
王雨田主编．控制论、信息论、系统科学与哲学．北京：中国人民大学出版社，1986年第一版．1990年第二版
王身立．耗散结构理论向何处去——广义进化与负熵．北京：人民出版社，1989年
魏宏森．控制论方法和系统方法．自然辩证法讲义(自然辩证法讲义编写组)第三篇第七章．北京：人民教育出版社，1979年
魏宏森．控制论与科学方法论．哲学研究．1980年7期
魏宏森．现代系统论的产生与发展．哲学研究．1982年5期
魏宏森．略论系统理论与辩证唯物主义的关系．社会科学研究．1982年12期
魏宏森著．系统科学方法论导论．北京：人民出版社，1983年
魏宏森．辩证唯物主义系统观初探．中国社会科学，1984年1期
魏宏森．系统论、信息论、控制论与现代科学方法论．科学方法论研究．1984年

魏宏森．系统论的产生及其意义．红旗，1985 年 4 期
魏宏森．系统理论与马克思主义哲学．光明日报，1985 年 6 月 24 日
魏宏森．系统科学方法论——一种现代新工具论．北京轻工学报，1985 年 2 期
魏宏森．系统理论研究在中国．中国自然辩证法研究的历史与现状．北京：知识出版社，1985 年
魏宏森主编．系统科学及其哲学思考．北京：清华大学出版社，1988 年
魏宏森等编．发展战略与区域规划的理论与方法．重庆：重庆出版社，1988 年
魏宏森、肖广岭等．首都科技－经济协调发展模型．清华大学学报（自然科学版），1989 年增刊 1
魏宏森著．系统科学与社会系统．长春：吉林教育出版社，1990 年
魏宏森．广义系统论．系统工程的理论与实践，1990 年 11 期
魏宏森、姜炜．探索组织性、复杂性问题的理论与方法．现代化，1991 年 9 期
魏宏森、宋永华等编著．开创复杂性研究的新学科——系统科学纵览．成都：四川教育出版社，1991 年
魏宏森、王伟．广义系统论的基本原理．系统辩证学学报．1993 年 1 期
魏宏森、赵秀生．综合集成方法在区域规划中的应用．系统辩证学学报，1993 年 4 期
魏宏森、曾国屏．系统整体性原理．清华大学学报（哲学社会科学版），1994 年 3 期
维纳著．郝季仁译．控制论第 2 版．北京：科学出版社，1963 年
控制论哲学问题译文集第一辑．北京：商务印书馆，1965 年
N.维纳．陈步译．人有人的用处．北京：商务印书馆，1978 年
乌杰、魏宏森、王兆强等主编．系统理论与区域规划．北京：中国矿业大学出版社，1990 年
乌杰著．系统辩证论．北京：人民出版社，1991 年
A.Л.乌尔苏勒主编．吴元梁等译．控制论和辩证法．北京：中国社会科学出版社，1988 年
吴延涪著．新自然史——自组织理论与自然系统的演化．北京：化学工业出版社，1993 年

瓦.尼.乌约莫夫著．闵家胤译．系统方式和一般系统论．长春:吉林人民出版社,1983年
A.西蒙著．武夷山译．人工科学．北京:商务印书馆,1987年
系统理论中的科学方法与哲学问题．北京:清华大学出版社,1984年
曾盛林、曾国屏．时空的对立统一．自然辨证法研究,1994年8期
曾国屏．超循环自组织理论．科学、技术和辩证法,1988年4期
曾国屏．试论教育管理的法律方法．教育管理研究,1991年1期
曾国屏、沈小峰．自组织理论和自然界的循环发展．学术论从,1991年4期
曾国屏．系统科学．现代科学通论(郭华庆、朱尔恭、鲍鸥主编)第八章．中国科学技术出版社,1991年
曾国屏．化学结构论．化学学导论(廖正衡等编著)．沈阳:辽宁教育出版社,1992年
曾国屏．爱因斯坦、普里戈金与《自然辩证法》．自然辨证法研究．1993年4期
曾国屏．科学天人观的演进．潜科学,1994年4期
曾国屏．郭华庆．生命双起源论的方法论问题．自然辨证法研究、1994年9期
湛垦华、沈小峰等编．普里高津和耗散结构理论．西安:陕西科学技术出版社,1982年
张彦、林德宏．系统自组织概论．南京:南京大学出版社,1990年
张玉志、魏宏森著．人工智能与社会进步．长春:吉林教育出版社,1990年
张卓民等编著．系统方法．沈阳:辽宁人民出版社,1985年
中国辩证唯物主义研究会编．系统科学的哲学探讨．北京:中国人民出版社,1988年
邹珊刚、李继宗、黄麟雏等编著．系统科学．上海:上海人民出版社,1987年

［Ｇｅｎｅｒａｌ Ｉｎｆｏｒｍａｔｉｏｎ］
书名＝清华大学学术专著　　系统论——系统科学哲学９５１２
作者＝
页数＝３５９
ＳＳ号＝１０２０１３７９
出版日期＝